

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年11月27日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-344564

[ST.10/C]:

[JP2002-344564]

出 願 人

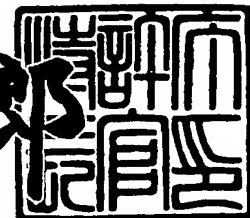
Applicant(s):

トヨタ自動車株式会社

2003年 5月 9日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3033578

【書類名】 特許願
【整理番号】 PA02-101
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 F02D 41/14
F02D 45/00

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

【氏名】 小林 大介

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

【氏名】 小嶋 和法

【特許出願人】

【識別番号】 000003207

【氏名又は名称】 トヨタ自動車株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088971

【弁理士】

【氏名又は名称】 大庭 咲夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100115185

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 慎治

【選任した代理人】

【識別番号】 100115233

【弁理士】

【氏名又は名称】 樋口 俊一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008268

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 内燃機関の燃料噴射量制御方法、及び燃料噴射量制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

今回の吸気行程での吸気弁閉弁時における内燃機関の運転状態量を同吸気弁閉弁時より前の時点で予測し、

前記予測した運転状態量に応じて前記今回の吸気行程での吸入空気量を予測し

前記予測した吸入空気量に対して所定の目標空燃比を得るために必要とすべき仮の燃料量を補正前予測必要燃料量として算出し、

前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁後の時点で、同前回の吸気行程において前記目標空燃比を得るために実際に必要とされていた燃料量である実必要燃料量を既知となった運転状態量に基いて算出し、

前記前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量である実吸入燃料量を少なくとも同前回の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量に基いて算出し、

前記算出した実必要燃料量と前記算出した実吸入燃料量とに基いて前記前回の吸気行程における燃料の過不足分を求めるとともに、前記求められた過不足分に応じた燃料フィードバック補正量を算出し、

前記算出した燃料フィードバック補正量で前記補正前予測必要燃料量を補正して正規予測必要燃料量を算出し、

少なくとも前記算出した正規予測必要燃料量に基いて燃料噴射量を算出し、

前記算出した燃料噴射量の燃料を前記今回の吸気行程での吸気弁閉弁時よりも前の時点で同今回の吸気行程に対して噴射する内燃機関の燃料噴射量制御方法。

【請求項 2】

指示に応じて燃料噴射を行う燃料噴射手段を備えた内燃機関の燃料噴射量制御装置において、

現時点より先の時点における前記内燃機関の運転状態量を予測する運転状態量予測手段と、

現時点より前の時点における前記内燃機関の実際の運転状態量を取得する運転

状態量取得手段と、

今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 1 所定時点にて同今回の吸気行程での吸気弁閉弁時の吸入空気量である予測吸入空気量を前記運転状態量予測手段により予測された同第 1 所定時点より先の時点における運転状態量と前記内燃機関の吸気系における空気の挙動をモデル化した空気モデルとに基いて算出する予測吸入空気量算出手段と、

前記第 1 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 2 所定時点にて前記予測吸入空気量に基いて同今回の吸気行程で必要とされるべき仮の燃料量である補正前予測必要燃料量を算出する補正前予測必要燃料量算出手段と、

前回の吸気行程での吸気弁閉弁時より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 3 所定時点にて同前回の吸気行程での吸気弁閉弁時の実際の吸入空気量である実吸入空気量を前記運転状態量取得手段により取得された実際の運転状態量と前記空気モデルとに基いて算出する実吸入空気量算出手段と、

前記第 3 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 4 所定時点にて前記算出された実吸入空気量に基いて前記前回の吸気行程において実際に必要とされていた燃料量である実必要燃料量を算出する実必要燃料量算出手段と、

前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 5 所定時点にて前記前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量である実吸入燃料量を少なくとも同前回の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量に基いて算出する実吸入燃料量算出手段と、

前記第 4 所定時点、及び前記第 5 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 6 所定時点にて前記算出された実必要燃料量と前記算出された実吸入燃料量とに基いて燃料フィードバック補正量を算出する燃料フィードバック補正量算出手段と、

前記第 2 所定時点、及び前記第 6 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 7 所定時点にて前記算出された補正前予

測必要燃料量を前記算出された燃料フィードバック補正量で補正することにより同今回の吸気行程で必要とされる正規燃料量である正規予測必要燃料量を算出する正規予測必要燃料量算出手段と、

前記第 7 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 8 所定時点にて少なくとも前記算出された正規予測必要燃料量に基いて前記燃料噴射手段から同今回の吸気行程に対し噴射される燃料噴射量を算出する燃料噴射量算出手段と、

前記第 8 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 9 所定時点にて前記燃料噴射手段に対し前記算出された燃料噴射量の燃料を噴射するように指示を与える燃料噴射指示手段と、

を備えた内燃機関の燃料噴射量制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の内燃機関の燃料噴射量制御装置であって、

任意の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量と、同任意の吸気行程の一回前の吸気行程後であって同任意の吸気行程前における実際の燃料付着量である実燃料付着量と、前記内燃機関の吸気系への燃料付着挙動を表す燃料挙動モデルとに基いて、同任意の吸気行程後であって同任意の吸気行程の次の吸気行程前における実燃料付着量を算出する実燃料付着量算出手段を備えるとともに、

前記実吸入燃料量算出手段は、

前記燃料挙動モデルの順モデルに基いて、前記前回の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量の燃料のうち同前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量と前記実燃料付着量算出手段により算出された前々回の吸気行程後であって前記前回の吸気行程前における実燃料付着量の燃料のうち同前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量とから、同前回の吸気行程において実際に吸入された前記実吸入燃料量を算出するように構成され、

前記燃料噴射量算出手段は、

前記燃料挙動モデルの逆モデルに基いて、前記今回の吸気行程に対し噴射されるべき燃料噴射量の燃料のうち同今回の吸気行程において吸入される燃料量と前記実燃料付着量算出手段により算出された前記前回の吸気行程後であって同今回

の吸気行程前における実燃料付着量の燃料のうち同今回の吸気行程において吸入される燃料量との和が前記算出された正規予測必要燃料量と等しくなるように同燃料噴射量を算出するように構成された内燃機関の燃料噴射量制御装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の内燃機関の燃料噴射量制御装置において、

前記実吸入燃料量算出手段は、前記燃料挙動モデルの順モデルにて使用する付着率と残留率を前記前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時の実吸入空気量に基いて決定し、同決定した付着率と残留率を使用した同燃料挙動モデルの順モデルに基いて前記実吸入燃料量を算出するように構成され、

前記燃料噴射量算出手段は、前記燃料挙動モデルの逆モデルにて使用する付着率と残留率を前記予測吸入空気量に基いて決定し、同決定した付着率と残留率を使用した同燃料挙動モデルの逆モデルに基いて前記燃料噴射量を算出するように構成された内燃機関の燃料噴射量制御装置。

【請求項 5】

請求項 2 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の内燃機関の燃料噴射量制御装置において、

前記燃料フィードバック補正量算出手段は、少なくとも前記算出された実必要燃料量と前記算出された実吸入燃料量との差の時間積分値に基いて燃料フィードバック補正量を算出するように構成され、

前記予測吸入空気量算出手段と前記実吸入空気量算出手段は、前記内燃機関の運転状態が定常運転状態にあるとき、同予測吸入空気量算出手段により算出される前記予測吸入空気量と同実吸入空気量算出手段により算出される前記実吸入空気量とが等しくなるように構成された内燃機関の燃料噴射量制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、内燃機関の燃料噴射量制御装置に係り、特に過渡運転時においても空燃比を略一定に維持することが可能な燃料噴射量制御方法、及び燃料噴射量制御装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

電子制御燃料噴射式の内燃機関においては、吸気行程直前又は吸気行程中において燃料噴射による燃料の供給が必要な気筒（以下、「燃料噴射気筒」と云う。）の同吸気行程における吸入空気量を求め、この求めた吸入空気量に応じた量の燃料を、最も遅くとも同吸気行程に対する吸気弁閉弁時（吸気弁の状態が開状態から閉状態に変化する時点）までに、場合によっては同吸気行程開始前までに、噴射する必要がある。このため、例えば、下記特許文献 1 に開示された内燃機関の制御装置は、同内燃機関の運転状態量の一つであるスロットル弁開度を燃料噴射気筒の吸気弁閉弁時まで前もって予測し、少なくとも同予測したスロットル弁開度と内燃機関の吸気系の空気の挙動をモデル化した空気モデルとに基づいて同燃料噴射気筒の吸気弁閉弁時における吸入空気量を同吸気弁閉弁時よりも前の時点で予測し、その予測した吸入空気量に応じた燃料噴射量の燃料を同気筒に対して噴射するようになっている。

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】

特開平 1 0 - 1 6 9 4 6 9 号公報

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の制御装置は、例えば、予測したスロットル弁開度と実際のスロットル弁開度とが相違する等の理由により、予測した吸入空気量と実際の吸入空気量との間に差（推定誤差）が生じると、この推定誤差を補償する手段を備えていないので、同従来の制御装置においては、燃料噴射量が適切な値と異なる値となって空燃比が乱れるという問題がある。

【 0 0 0 5 】

一方、前記推定誤差を補償するために上記従来の制御装置に一般的なフィードバックコントローラを付加してフィードバック制御を行う場合においては、時々刻々と変化する内燃機関の運転状態（例えば、内燃機関の回転速度、温度等）に応じて同コントローラが使用する比例ゲイン、積分ゲイン等のフィードバック制

御定数を頻繁に変更する必要がないようにフィードバック制御系を構成し、同コントローラを簡易な構成とすることが要求される。

【 0 0 0 6 】

従って、本発明の目的は、簡易な構成のフィードバックコントローラを使用して吸入空気量の推定誤差を迅速に補償し、特に、スロットル弁開度が急変する等の過渡運転時における空燃比を迅速に安定させることが可能な内燃機関の燃料噴射量制御方法、及び燃料噴射量制御装置を提供することにある。

【 0 0 0 7 】

【発明の概要】

本発明の燃料噴射量制御方法は、今回の吸気行程での吸気弁閉弁時における内燃機関の運転状態量を同吸気弁閉弁時より前の時点で予測し、前記予測した運転状態量に応じて前記今回の吸気行程での吸入空気量を予測し、前記予測した吸入空気量に対して所定の目標空燃比を得るために必要とすべき仮の燃料量を補正前予測必要燃料量として算出し、前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁後の時点で、同前回の吸気行程において前記目標空燃比を得るために実際に必要とされていた燃料量である実必要燃料量を既知となった運転状態量に基いて算出し、前記前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量である実吸入燃料量を少なくとも同前回の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量に基いて算出し、前記算出した実必要燃料量と前記算出した実吸入燃料量とに基いて前記前回の吸気行程における燃料の過不足分を求めるとともに、前記求められた過不足分に応じた燃料フィードバック補正量を算出し、前記算出した燃料フィードバック補正量で前記補正前予測必要燃料量を補正して正規予測必要燃料量を算出し、少なくとも前記算出した正規予測必要燃料量に基いて燃料噴射量を算出し、前記算出した燃料噴射量の燃料を前記今回の吸気行程での吸気弁閉弁時よりも前の時点で同今回の吸気行程に対して噴射する方法である。

【 0 0 0 8 】

本発明において、「今回の吸気行程」、「前回の吸気行程」（、及び「前々回の吸気行程」）は、それぞれ、特定の気筒（内燃機関の複数気筒のうちの任意の一つの気筒、以下同じ。）に着目した場合における同特定の気筒に対する今回、

前回（、及び前々回）の吸気行程であっても、内燃機関の複数気筒のうちで順次移動していく不特定の上記燃料噴射気筒に対する今回、前回（、及び前々回）の吸気行程であってもよい。

【 0 0 0 9 】

この燃料噴射量制御方法は、今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の吸入空気量を、予測した運転状態量（例えば、スロットル弁開度）に基いて同吸気弁閉弁時よりも前の時点で予測し、予測した吸入空気量に対して所定の目標空燃比（例えば、理論空燃比）を得るために必要とすべき仮の燃料量である補正前予測必要燃料量を算出する。従って、補正前予測必要燃料量は、予測吸入空気量の予測誤差（推定誤差）の影響を受ける。

【 0 0 1 0 】

一方、前回の吸気行程の吸気弁閉弁後においては、同前回の吸気行程における吸気弁閉弁時点の運転状態量は既知であるから、その既知である運転状態量から同前回の吸気行程の実際の吸入空気量を求めることができ、従って、同前回の吸気行程で気筒内の混合気の空燃比が目標空燃比となるために実際に必要とされていた燃料量（実必要燃料量）を正確に求めることができる。他方、前回の吸気行程の吸気弁閉弁後においては、同前回の吸気行程に対して実際に噴射された燃料噴射量が既知であるから、その既知である燃料噴射量に少なくとも基いて同前回の吸気行程の実際の吸入燃料量（実吸入燃料量）を正確に求めることができる。

【 0 0 1 1 】

本燃料噴射量制御方法は、このように実必要燃料量と実吸入燃料量を求め、これら実必要燃料量と実吸入燃料量（との差）に基いて前回の吸気行程における燃料の過不足を算出し、同過不足分を補うための燃料フィードバック補正量を求める。そして、本燃料噴射量制御方法は、この燃料フィードバック補正量で前記補正前予測必要燃料量を補正することにより正規予測必要燃料量を求め、少なくともこの正規予測必要燃料量に基いて燃料噴射量を算出する。従って、吸気行程毎に、前回の吸気行程での燃料の過不足分が少なくとも今回の吸気行程で補償されるので、空燃比を迅速、且つ、精度良く、一定に維持することができる。

【 0 0 1 2 】

また、燃料フィードバック補正量で補正された後の正規予測必要燃料量に基いて燃料噴射量が算出される。従って、例えば、後述するように、内燃機関の運転状態に応じて変化する（実際の）燃料付着量を考慮して正規予測必要燃料量に基いて燃料噴射量が算出される場合等、算出される燃料噴射量が正規予測必要燃料量に対して内燃機関の運転状態に応じた異なる量となる場合であっても、前記算出された燃料噴射量の燃料を噴射すれば、内燃機関の運転状態に拘わらず、前記燃料フィードバック補正量が確実に反映された所望の前記正規予測必要燃料量の燃料が正確に燃料噴射気筒内に吸入され得る。この結果、前記燃料フィードバック補正量を算出するためのフィードバックコントローラが使用する比例ゲイン等のフィードバック制御定数を時々刻々と変化する内燃機関の運転状態に応じて変更する必要がないので、フィードバックコントローラを簡易な構成とすることができる。

【 0 0 1 3 】

また、より具体的態様としての本発明の内燃機関の燃料噴射量制御装置は、指示に応じて燃料噴射を行う燃料噴射手段を備えた内燃機関の燃料噴射量制御装置であって、運転状態量予測手段、運転状態量取得手段、予測吸入空気量算出手段、補正前予測必要燃料量算出手段、実吸入空気量算出手段、実必要燃料量算出手段、実吸入燃料量算出手段、燃料フィードバック補正量算出手段、正規予測必要燃料量算出手段、燃料噴射量算出手段、及び燃料噴射指示手段を備える。以下、各手段の作用について説明する。

【 0 0 1 4 】

運転状態量予測手段は、現時点より先の時点における前記内燃機関の運転状態量を予測する。運転状態量取得手段は、現時点より前の時点における前記内燃機関の実際の運転状態量を取得する。運転状態量の代表例としては、スロットル弁開度が挙げられる。

【 0 0 1 5 】

予測吸入空気量算出手段は、今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 1 所定時点にて、同今回の吸気行程での吸気弁閉弁時の吸入空気量である予測吸入空気量を前記運転状態量予測手段により予測された同第 1 所定時点より先の時

点における運転状態量と前記内燃機関の吸気系における空気の挙動をモデル化した空気モデルとに基いて算出する。即ち、予測吸入空気量算出手段は、次に吸気行程に入ろうとしている（又は、すでに吸気行程に入っている）気筒の吸気弁がその吸気行程において開弁状態から閉弁状態へと以降する時点（吸気弁閉弁時）より前の第 1 所定時点で、同吸気弁閉弁時における同気筒の吸入空気量を予測する。

【 0 0 1 6 】

補正前予測必要燃料量算出手段は、前記第 1 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 2 所定時点にて、前記予測吸入空気量に基づいて同今回の吸気行程で必要とされるべき仮の燃料量である補正前予測必要燃料量を算出する。例えば、補正前予測必要燃料量算出手段は、内燃機関の運転状態に応じて別途定められる（或いは一定の）目標空燃比で前記予測吸入空気量を除することにより補正前予測必要燃料量を算出することができる。

【 0 0 1 7 】

実吸入空気量算出手段は、前回の吸気行程での吸気弁閉弁時より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 3 所定時点にて、同前回の吸気行程での吸気弁閉弁時の実際の吸入空気量である実吸入空気量を前記運転状態量取得手段により取得された実際の運転状態量と前記空気モデルとに基いて算出する。この第 3 所定時点は、前記前回の吸気行程での吸気弁閉弁時より後の時点であるから、同前回の吸気行程での吸気弁閉弁時の実際の吸入空気量を求めるための運転状態量は既知であり、前記運転状態量取得手段により取得される。従って、実吸入空気量は同既知の運転状態量と空気モデルとに基いて正確に求められる。

【 0 0 1 8 】

実必要燃料量算出手段は、前記第 3 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 4 所定時点にて、前記算出された実吸入空気量に基いて前記前回の吸気行程において実際に必要とされていた燃料量である実必要燃料量を算出する。例えば、実必要燃料量算出手段は、前記補正前予測必要燃料量算出手段と同様、前記目標空燃比で前記実吸入空気量を除すことに

より実必要燃料量を算出することができる。

【 0 0 1 9 】

実吸入燃料量算出手段は、前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 5 所定時点にて、前記前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量である実吸入燃料量を少なくとも同前回の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量に基いて算出する。この場合、後述するように、実際の燃料付着量（実燃料付着量）を考慮して実吸入燃料量を求めることが好適である。

【 0 0 2 0 】

燃料フィードバック補正量算出手段は、前記第 4 所定時点、及び前記第 5 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 6 所定時点にて、前記算出された実必要燃料量と前記算出された実吸入燃料量とに基いて燃料フィードバック補正量を算出する。

【 0 0 2 1 】

例えば、前記算出された実必要燃料量と前記算出された実吸入燃料量との差は、前回の吸気行程における燃料の過不足分を表すから、同実必要燃料量と同実吸入燃料量との差と、この差を入力値とする比例積分制御等のコントローラとを用いることで、同燃料の過不足分を補償する燃料フィードバック補正量が算出される。

【 0 0 2 2 】

正規予測必要燃料量算出手段は、前記第 2 所定時点、及び前記第 6 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 7 所定時点にて、前記算出された補正前予測必要燃料量を前記算出された燃料フィードバック補正量で補正することにより同今回の吸気行程で必要とされる正規燃料量である正規予測必要燃料量を算出する。

【 0 0 2 3 】

燃料噴射量算出手段は、前記第 7 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 8 所定時点にて、少なくとも前記算出された正規予測必要燃料量に基いて前記燃料噴射手段から同今回の吸気行程に対し噴射される燃料噴射量を算出する。この場合、燃料噴射量算出手段は、前記燃料

噴射量の燃料を噴射すれば前記正規予測必要燃料量の燃料が前記今回の吸気行程に対する気筒（燃料噴射気筒）内に吸入されるように同燃料噴射量を算出するように構成されることが好適である。更には、後述するように、実際の燃料付着量（実燃料付着量）を考慮して燃料噴射量を求めることが好適である。

【 0 0 2 4 】

そして、燃料噴射指示手段は、前記第 8 所定時点より後の時点であって前記今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の第 9 所定時点にて、前記燃料噴射手段に対し前記算出された燃料噴射量の燃料を噴射するように指示を与え、これにより、同燃料噴射量の燃料が燃料噴射手段から噴射される。

【 0 0 2 5 】

本発明による燃料噴射量制御装置は、以上の処理を吸気行程毎に（各気筒毎に）繰り返し実行し、前回の吸気行程における燃料の過不足分を次回以降の燃料噴射量に直ちに反映する（補償する）ので、空燃比を安定した値に維持することができる。また、前記算出された燃料噴射量の燃料を噴射すれば、内燃機関の運転状態に拘わらず、前記燃料フィードバック補正量が確実に反映された所望の前記正規予測必要燃料量の燃料が燃料噴射気筒内に正確に吸入され得るので、前記燃料フィードバック補正量を算出するためのフィードバック制御定数を時々刻々と変化する内燃機関の運転状態に応じて変更する必要がなく、この結果、燃料フィードバック補正量を算出するためのフィードバックコントローラを簡易な構成とすることができる。

【 0 0 2 6 】

この場合、上記燃料噴射量制御装置は、実燃料付着量を算出する実燃料付着量算出手段を備え、前記実吸入燃料量算出手段は、この実燃料付着量を考慮しながら燃料挙動モデルの順モデルを使用して前記実吸入燃料量を算出するように構成され、前記燃料噴射量算出手段は、前記正規予測必要燃料量が吸入されるように、前記算出された実燃料付着量を考慮しながら燃料挙動モデルの逆モデルを使用して前記燃料噴射量を算出するように構成されることが好適である。

【 0 0 2 7 】

これによれば、内燃機関の運転状態に応じて変化する燃料付着量が考慮されな

がら燃料噴射量が決定されて行くから、燃料噴射気筒に対して適切な燃料噴射量が算出され、その結果、空燃比を一層安定化することができる。

【 0 0 2 8 】

より具体的に述べると、実燃料付着量算出手段は、任意の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量と、同任意の吸気行程の一回前の吸気行程後であって同任意の吸気行程前における実際の燃料付着量である実燃料付着量と、前記燃料挙動モデルとに基いて、同任意の吸気行程後であって同任意の吸気行程の一回後の吸気行程前における実燃料付着量を算出する。

【 0 0 2 9 】

即ち、実燃料付着量算出手段は、ある吸気行程に対して実際に噴射された燃料噴射量の燃料のうちの吸気系に付着する燃料の量と、その吸気行程前に吸気系に付着していた実燃料付着量のうちの吸気系に残留する燃料の量とから、新たな（前記ある吸気行程後の）実燃料付着量を算出する。

【 0 0 3 0 】

また、前記実吸入燃料量算出手段は、前記燃料挙動モデルの順モデルに基いて、前記前回の吸気行程に対し実際に噴射された燃料噴射量の燃料のうち同前回の吸気行程において同気筒に実際に吸入された燃料量、及び、前記実燃料付着量算出手段により算出された前々回の吸気行程後であって同前回の吸気行程前における実燃料付着量の燃料のうち同前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量とから、同前回の吸気行程において実際に吸入された前記実吸入燃料量を算出するように構成される。

【 0 0 3 1 】

即ち、前記実吸入燃料量算出手段は、前回の吸気行程に対する実際の燃料噴射量の燃料のうち燃料噴射気筒に吸入される分と、前回の吸気行程前の実際の燃料付着量の燃料のうち燃料噴射気筒に吸入される分との和を、前回の吸気行程において実際に吸入された吸入燃料量として算出する。

【 0 0 3 2 】

そして、前記燃料噴射量算出手段は、前記燃料挙動モデルの逆モデルに基いて、前記今回の吸気行程に対し噴射されるべき燃料噴射量の燃料のうち同今回の吸

気行程において吸入される燃料量と前記実燃料付着量算出手段により算出された前記前回の吸気行程後であって同今回の吸気行程前における実燃料付着量の燃料のうち同今回の吸気行程において吸入される燃料量との和が前記算出された正規予測必要燃料量と等しくなるように同燃料噴射量を算出するように構成される。

【 0 0 3 3 】

即ち、前記燃料噴射量算出手段は、正規予測必要燃料量が燃料噴射気筒に吸入されるためには、どれだけの燃料噴射量の燃料を噴射しなければならないかを、同燃料噴射量の燃料のうち吸入系へ付着することなく同気筒に吸入される分、及び今回の吸気行程前における前記実燃料付着量の燃料のうちの同気筒への吸入される分とを考慮して算出し、そのようにして算出された噴射量を燃料噴射量とする。

【 0 0 3 4 】

このようにすれば、実際の燃料噴射量に基いて算出される精度の良い実燃料付着量が考慮されることで、実吸入燃料量が精度良く求められるので、吸入された燃料の過不足分が正確に求められ、この過不足分がフィードバック補正量に反映されるから、結果として空燃比を安定させることができる。また、このように精度の良い実燃料付着量が考慮されて燃料噴射量が算出されるので、吸入空気量の予測誤差がない場合（燃料フィードバック補正量がない場合）には同燃料噴射量の燃料の噴射によって実必要燃料量に極めて近い燃料量の燃料（即ち、補正前予測必要燃料量、又は正規予測必要燃料量）が燃料噴射気筒に供給されることになり、これによっても各吸気行程毎の空燃比が安定する。

【 0 0 3 5 】

また、上記のように、前記実吸入燃料量算出手段が前記実燃料付着量を考慮しながら燃料挙動モデルの順モデルを使用して同実吸入燃料量を算出するように構成され、前記燃料噴射量算出手段が同実燃料付着量を考慮しながら燃料挙動モデルの逆モデルを使用して前記燃料噴射量を算出するように構成される場合、前記実吸入燃料量算出手段は、前記燃料挙動モデルの順モデルにて使用する付着率と残留率を前記前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時の実吸入空気量に基いて決定し、前記燃料噴射量算出手段は、前記燃料挙動モデルの逆モデルにて使用する付

着率と残留率を前記予測吸入空気量に基いて決定するように構成されることが好適である。

【 0 0 3 6 】

これによれば、実吸入燃料量算出手段が燃料挙動モデルの順モデルにて使用する付着率と残留率は、前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時後において既知となった運転状態量と空気モデルとに基いて求められた同前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時の実際の吸入空気量（実吸入空気量）に基いて決定されることになり、機関の吸気系における実際の燃料の挙動を精度良く表す量となる。従って、実吸入燃料量がより一層正確に算出される。

【 0 0 3 7 】

また、燃料噴射量算出手段が燃料挙動モデルの逆モデルにて使用する付着率と残留率は、運転状態量予測手段により予測された運転状態量と空気モデルとに基いて求められた今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時の予測された吸入空気量（予測吸入空気量）に基いて決定されることになり、今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時において予測される機関の吸気系における燃料の挙動を精度良く表す量となる。従って、正規予測必要燃料量の燃料を燃料噴射気筒に吸入させるための燃料噴射量がより一層正確に算出される。

【 0 0 3 8 】

上記何れかの燃料噴射量制御装置においては、前記燃料フィードバック補正量算出手段は、少なくとも前記算出された実必要燃料量と前記算出された実吸入燃料量との差の時間積分値に基いて燃料フィードバック補正量を算出するように構成され、前記予測吸入空気量算出手段と前記実吸入空気量算出手段は、前記内燃機関の運転状態が定常運転状態にあるとき、同予測吸入空気量算出手段により算出される前記予測吸入空気量と同実吸入空気量算出手段により算出される前記実吸入空気量とが等しくなるように構成されることが好適である。

【 0 0 3 9 】

これによれば、内燃機関の運転状態が定常運転状態にあるとき、前記予測吸入空気量と前記実吸入空気量とが等しくなるから、同予測吸入空気量に基いて算出される補正前予測必要燃料量と同実吸入空気量に基いて算出される実必要燃料量

とも等しくなり得る。従って、内燃機関の運転状態が所定時間以上定常運転状態に維持される毎に、前記算出された実必要燃料量と前記算出された実吸入燃料量との差の前記時間積分値がゼロになることが保証され得る。

【 0 0 4 0 】

一方、前記差の時間積分値は燃料の過不足分の時間積分値に相当する値である。よって、内燃機関の運転状態が定常運転状態から燃料の過不足分が発生し易い過渡運転状態に移行した後、再び定常運転状態に復帰する毎に、燃料の過不足分の時間積分値がゼロになることが保証され得ることになる。この結果、内燃機関の運転状態が定常運転状態から一旦過渡運転状態に移行してから再び定常運転状態に復帰するまでの期間における平均的な空燃比（（同期間内の総吸入空気量）／（同期間内の総燃料（噴射）量））を所定の目標空燃比（例えば、理論空燃比）と等しくすることができる。

【 0 0 4 1 】

ところで、一般に、内燃機関の排気系には、理論空燃比から或る程度偏移した空燃比を有する排気ガスをも浄化するため、所謂酸素吸蔵・放出機能を備えた三元触媒が介装されることが多い。この三元触媒が有する酸素吸蔵・放出機能は、同触媒の酸素吸蔵量が所定の量（例えば、同触媒の最大酸素吸蔵量の半分程度の量）近傍に維持されているときに効率良く発揮される。一方、三元触媒の酸素吸蔵量は、同触媒に流入する排気ガスの空燃比がリッチ空燃比のとき減少し、同排気ガスの空燃比がリーン空燃比のとき増加する。従って、上記期間内における平均的な空燃比が前記目標空燃比（例えば、理論空燃比）と等しければ、同期間の前後において三元触媒の酸素吸蔵量は変化することなく、この結果、同触媒の酸素吸蔵量が前記所定の量近傍に維持され得る。

【 0 0 4 2 】

以上のことから、上記のように構成すれば、内燃機関の排気系に所謂酸素吸蔵・放出機能を備えた三元触媒が介装される場合、内燃機関の運転状態が定常運転状態から一旦過渡運転状態に移行してから再び定常運転状態に復帰した場合においても、同三元触媒の酸素吸蔵・放出機能が低下することがなく、排気ガスのエミッションの排出量が増大することを防止することができる。

【 0 0 4 3 】

なお、上記燃料噴射量制御装置において、上記第 9 の所定時点は、実際には、燃料噴射に要する時間と、噴射された燃料が気筒内に吸入されるのに要する時間と、の和の時間だけ、吸気弁閉弁時よりも前の時点である必要がある。但し、筒内噴射式の内燃機関の場合、或いは、燃料噴射手段としてのインジェクタの流量が極めて大きい場合等においては、第 9 の所定時点は吸気弁閉弁時より前の所定時点であればよい。また、第 9 の所定時点は、燃料噴射開始後であってもよい。

【 0 0 4 4 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明による内燃機関の制御装置の各実施形態について図面を参照しつつ説明する。図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る燃料噴射量制御装置を火花点火式多気筒（4 気筒）内燃機関 1 0 に適用したシステムの概略構成を示している。

【 0 0 4 5 】

この内燃機関 1 0 は、シリンダブロック、シリンダブロックローケース、及びオイルパン等を含むシリンダブロック部 2 0 と、シリンダブロック部 2 0 の上に固定されるシリンダヘッド部 3 0 と、シリンダブロック部 2 0 にガソリン混合気を供給するための吸気系統 4 0 と、シリンダブロック部 2 0 からの排ガスを外部に放出するための排気系統 5 0 とを含んでいる。

【 0 0 4 6 】

シリンダブロック部 2 0 は、シリンダ 2 1、ピストン 2 2、コンロッド 2 3、及びクランク軸 2 4 を含んでいる。ピストン 2 2 はシリンダ 2 1 内を往復動し、ピストン 2 2 の往復動がコンロッド 2 3 を介してクランク軸 2 4 に伝達され、これにより同クランク軸 2 4 が回転するようになっている。シリンダ 2 1 とピストン 2 2 のヘッドは、シリンダヘッド部 3 0 とともに燃焼室 2 5 を形成している。

【 0 0 4 7 】

シリンダヘッド部 3 0 は、燃焼室 2 5 に連通した吸気ポート 3 1、吸気ポート 3 1 を開閉する吸気弁 3 2、吸気弁 3 2 を駆動するインテークカムシャフトを含むとともに同インテークカムシャフトの位相角を連続的に変更する可変吸気タイ

ミング装置 3 3、可変吸気タイミング装置 3 3 のアクチュエータ 3 3 a、燃烧室 2 5 に連通した排気ポート 3 4、排気ポート 3 4 を開閉する排気弁 3 5、排気弁 3 5 を駆動するエキゾーストカムシャフト 3 6、点火プラグ 3 7、点火プラグ 3 7 に与える高電圧を発生するイグニッションコイルを含むイグナイタ 3 8、及び燃料を吸気ポート 3 1 内に噴射するインジェクタ（燃料噴射手段） 3 9 を備えている。

【 0 0 4 8 】

吸気系統 4 0 は、吸気ポート 3 1 に連通し同吸気ポート 3 1 とともに吸気通路を形成するインテークマニホールドを含む吸気管 4 1、吸気管 4 1 の端部に設けられたエアフィルタ 4 2、吸気管 4 1 内にあって吸気通路の開口断面積を可変とするスロットル弁 4 3、スロットル弁駆動手段を構成するスロットル弁アクチュエータ 4 3 a、スワールコントロールバルブ（以下、「SCV」と称呼する。） 4 4、及び SCV アクチュエータ 4 4 a を備えている。

【 0 0 4 9 】

DC モータからなるスロットル弁アクチュエータ 4 3 a は、後述する電子制御装置 7 0 が達成する電子制御スロットル弁ロジックにより目標スロットル弁開度 TAt が与えられると、実際のスロットル弁開度 TA が目標スロットル弁開度 TAt となるようにスロットル弁 4 3 を駆動するようになっている。

【 0 0 5 0 】

DC モータからなる SCV アクチュエータ 4 4 a は、電気制御装置 7 0 から駆動信号を受け、前記スロットル弁 4 3 よりも下流で前記インジェクタ 3 9 よりも上流の位置にて前記吸気管 4 1 に対し回動可能に支持され、燃烧室に吸入される空気にスワールを発生させるための SCV 4 4 を回転駆動するようになっている。

【 0 0 5 1 】

排気系統 5 0 は、排気ポート 3 4 に連通したエキゾーストマニホールド 5 1、エキゾーストマニホールド 5 1 に接続されたエキゾーストパイプ 5 2、及びエキゾーストパイプ 5 2 に介装された所謂酸素吸蔵・放出機能を備えた触媒コンバータ（三元触媒装置） 5 3 を備えている。

【 0 0 5 2 】

一方、このシステムは、熱線式エアフローメータ 6 1、吸気温センサ 6 2、大気圧センサ（スロットル弁上流圧力センサ） 6 3、スロットルポジションセンサ 6 4、SCV開度センサ 6 5、カムポジションセンサ 6 6、クランクポジションセンサ 6 7、水温センサ 6 8、空燃比センサ 6 9、及びアクセル操作量検出手段（の一部）を構成するアクセル開度センサ 8 1を備えている。

【 0 0 5 3 】

エアフローメータ 6 1は、概略斜視図である図 2 に示したように、吸気管 4 1内を流れる吸入空気の一部をバイパスさせるバイパス通路と、このバイパス通路にバイパスされた吸入空気の質量流量を計測する熱線計量部 6 1 a と、計測された質量流量に応じた電圧 V_g を出力する信号処理部 6 1 b とからなっている。熱線計量部 6 1 a は、その拡大斜視図である図 3 に示したように、白金熱線からなる吸気温計測用抵抗（ボビン部） 6 1 a 1 と、同吸気温計測用抵抗 6 1 a 1 を前記信号処理部 6 1 b に連結して保持するサポート部 6 1 a 2 と、加熱用抵抗（ヒータ） 6 1 a 3 と、同加熱用抵抗 6 1 a 3 を前記信号処理部 6 1 b に連結して保持するサポート部 6 1 a 4 とを備えている。信号処理部 6 1 b は、吸気温計測用抵抗 6 1 a 1 と加熱用抵抗 6 1 a 3 とで構成されたブリッジ回路を備え、このブリッジ回路により吸気温計測用抵抗 6 1 a 1 と加熱用抵抗 6 1 a 3 との温度差を常に一定に維持するように同加熱用抵抗 6 1 a 3 に供給する電力を調整するとともに、この供給する電力を前記電圧 V_g に変換して出力するようになっている。かかるエアフローメータ 6 1 の出力 V_g と、計測された吸入空気流量 $mtAFM$ との関係は、例えば図 4 に示したとおりであり、電気制御装置 7 0 は同図 4 の関係を利用することにより、計測された吸入空気流量 $mtAFM$ の値を取得するようになっている。

【 0 0 5 4 】

吸気温センサ 6 2 は、エアフローメータ 6 1 内に備えられていて、吸入空気の温度（吸気温度）を検出し、吸気温度 THA を表す信号を出力するようになっている。大気圧センサ 6 3 は、スロットル弁 4 3 の上流の圧力（即ち、大気圧）を検出し、スロットル弁上流圧力 Pa を表す信号を出力するようになっている。スロッ

トルポジションセンサ64は、スロットル弁43の開度を検出し、スロットル弁開度TAを表す信号を出力するようになっている。SCV開度センサ65は、SCV44の開度を検出し、SCV開度 θ_{iv} を表す信号を出力するようになっている。カムポジションセンサ66は、インテークカムシャフトが 90° 回転する毎に（即ち、クランク軸24が 180° 回転する毎に）一つのパルスをもつ信号（G2信号）を発生するようになっている。クランクポジションセンサ67は、クランク軸24が 10° 回転する毎に幅狭のパルスをもつとともに同クランク軸24が 360° 回転する毎に幅広のパルスをもつ信号を出力するようになっている。この信号は、エンジン回転速度NEを表す。水温センサ68は、内燃機関10の冷却水の温度を検出し、冷却水温THWを表す信号を出力するようになっている。空燃比センサ69は、触媒コンバータ53に流入する排ガス中の酸素濃度を検出することで空燃比を表す信号を出力するようになっている。アクセル開度センサ81は、運転者によって操作されるアクセルペダル82の操作量を検出し、同アクセルペダルの操作量Accpを表す信号を出力するようになっている。

【0055】

電気制御装置70は、互いにバスで接続されたCPU71、CPU71が実行するプログラム、テーブル（ルックアップテーブル、マップ）、定数等を予め記憶したROM72、CPU71が必要に応じてデータを一時的に格納するRAM73、電源が投入された状態でデータを格納するとともに同格納したデータを電源が遮断されている間も保持するバックアップRAM74、及びADコンバータを含むインターフェース75等からなるマイクロコンピュータである。インターフェース75は、前記センサ61～69、81と接続され、CPU71にセンサ61～69、81からの信号を供給するとともに、同CPU71の指示に応じて可変吸気タイミング装置33のアクチュエータ33a、イグナイタ38、インジェクタ39、スロットル弁アクチュエータ43a、及びSCVアクチュエータ44aに駆動信号を送出するようになっている。

【0056】

次に、上記のように構成された制御装置による物理モデルを用いた燃料噴射量の決定方法について説明する。以下に述べる処理は、CPU71がプログラムを

実行することにより行われる。

【 0 0 5 7 】

（燃料噴射量 f_i の決定方法の概要）

このような燃料噴射量制御装置は、吸気行程にある気筒、又は吸気行程の直前の状態にある気筒（即ち、燃料噴射気筒）の吸気弁 3 2 が、その吸気行程において開弁した状態から閉弁する状態に移行する時点（吸気弁閉弁時）より前の時点にて、同気筒に対して所定量の燃料を噴射する必要がある。そのため、本燃料噴射量制御装置は、吸気弁 3 2 が閉弁状態に移行する時点において同気筒内に吸入されているであろう吸入空気量を前もって予測し、同予測した吸入空気量に応じた燃料量の燃料を同吸気弁 3 2 の閉弁時より前の時点で同気筒に対して噴射する。本例においては、噴射終了時期を、燃料噴射気筒の吸気上死点前 75° クランクアングル（以下、「BTDC 75° CA」と表す。他のクランクアングルについても同様に表す。）と定めている。従って、本制御装置は、噴射に要する時間（インジェクタの開弁時間）、CPU の計算時間を考慮して、BTDC 75° CA の時点よりも前の時点にて、燃料噴射気筒の吸入空気量を予測する。

【 0 0 5 8 】

一方、吸気弁閉弁時の吸気管圧力（即ち、吸気管内空気圧力）は、吸入空気量と密接な関係にある。また、吸気弁閉弁時の吸気管圧力は、吸気弁閉弁時のスロットル弁開度に依存する。そこで、本制御装置は、吸気弁閉弁時のスロットル弁開度を予測・推定し、そのスロットル弁開度に基づいて燃料噴射気筒の吸入空気量 KL_{fwd} を事前に予測し、下記数 1 に示したように、予測した吸入空気量 KL_{fwd} をエンジンの運転状態に応じて別途定められる目標空燃比 A_{byFref} で除することで仮の必要燃料量（補正前予測必要燃料量） F_{cfwdb} を決定するとともに、燃料フィードバック補正量 F_{fb} を別途求め、補正前予測必要燃料量 F_{cfwdb} を燃料フィードバック補正量 F_{fb} により補正して正規の予測必要燃料量 F_{cfwd} を求める。燃料フィードバック補正量 F_{fb} は、後に詳述するように、前回の吸気行程において実際に必要とされた燃料量（実必要燃料量）と同前回の吸気行程において実際に吸入された燃料量（実吸入燃料量）との差に基く値である。そして、本制御装置は、燃料噴射量 f_i の燃料を噴射すれば前記求めた正規予測必要燃料量 F_{cfwd} の燃料が燃

料噴射気筒に吸入されるように、同正規予測必要燃料量 F_{cfwd} に基いて前記燃料噴射量 f_i を求める。以上が、燃料噴射量（最終的に噴射される燃料の量） f_i を求める方法の概要である。

【 0 0 5 9 】

【数 1】

$$F_{cfwd} = K L_{fwd} / A_{byFref} + F_{fb} = F_{cfwdb} + F_{fb}$$

【 0 0 6 0 】

（具体的構成・作用）

以下、上記した燃料噴射量 f_i を求めるための燃料噴射量制御装置の具体的構成、及び作用について説明する。この燃料噴射量制御装置は、機能ブロック図である図 5 に示したように、電子制御スロットル弁ロジック A 1、現時点より前の時点（過去～現在）における実際のスロットル弁開度と実際のアクセル操作量等の内燃機関の運転状態量を取得する運転状態量取得手段 A 2、現時点より先の時点におけるスロットル弁開度等の内燃機関の運転状態量を予測する運転状態量予測手段 M 1、内燃機関の吸気系における空気の挙動をモデル化した空気モデルを含む実吸入空気量算出手段としての第 1 吸入空気モデル A 3、同空気モデルを含む予測吸入空気量算出手段としての第 2 吸入空気モデル A 4、目標空燃比設定手段 A 5、及び図 6 に詳細な機能ブロック図を示した噴射量決定手段 A 6 を含んでいる。以下、個別具体的に、各手段、及びモデル等について説明する。

【 0 0 6 1 】

（電子制御スロットル弁ロジックと電子制御スロットル弁モデル）

まず、スロットル弁開度を制御するための電子制御スロットル弁ロジック A 1 と、将来における（現時点よりも先の時点における）スロットル弁開度 TA_{est} を予測する電子制御スロットル弁モデル M 1 について説明する。

【 0 0 6 2 】

電子制御スロットル弁ロジック A 1 は、まず、演算周期 ΔT_t （例えば、8 msec）の経過毎にアクセル開度センサ 8 1 の出力値に基づいてアクセル操作量 $Accp$ を読み込み、読み込んだアクセル操作量 $Accp$ と図 7 のアクセル操作量 $Accp$ と目標スロットル弁開度 TA_{acc} との関係を規定したテーブルとに基づいて今回の暫定目標ス

ロットル弁開度 TA_{acc} を求め、この暫定目標スロットル弁開度 TA_{acc} を図8のタイムチャートに示したように、所定の遅延時間 TD だけ遅延し、この遅延した暫定目標スロットル弁開度 TA_{acc} を目標スロットル弁開度 TA_t として設定してスロットル弁アクチュエータ43aに出力する。なお、遅延時間 TD は、本例においては一定の時間であるが、内燃機関が所定のクランク角度（例えば、クランク角 270° CA）だけ回転するのに要する時間 T_{270} とする等、エンジン回転速度 NE に応じた可変の時間とすることもできる。

【0063】

ところで、電子制御スロットル弁ロジックA1から目標スロットル弁開度 TA_t がスロットル弁アクチュエータ43aに出力された場合であっても、同スロットル弁アクチュエータ43aの遅れや、スロットル弁43の慣性などにより、実際のスロットル弁開度 TA は、ある遅れをもって目標スロットル弁開度 TA_t に追従する。そこで、電子制御スロットル弁モデルM1においては、下記数2に基いて遅延時間 TD 後におけるスロットル弁開度を予測・推定する（図8を参照）。

【0064】

【数2】

$$TA_{est}(k+1) = TA_{est}(k) + \Delta T_t \cdot f(TA_t(k), TA_{est}(k))$$

【0065】

数2において、 $TA_{est}(k+1)$ は今回の演算タイミングにおいて新たに予測・推定される予測スロットル弁開度 TA_{est} であり、 $TA_t(k)$ は今回の演算タイミングにて新たに得られた目標スロットル弁開度 TA_t であり、 $TA_{est}(k)$ は今回の演算タイミングにおいて既に予測・推定されていた最新の予測スロットル弁開度 TA_{est} （即ち、前回の演算タイミングにおいて予測・推定されたスロットル弁開度 TA_{est} ）である。また、関数 $f(TA_t(k), TA_{est}(k))$ は、図9に示したように、 $TA_t(k)$ と $TA_{est}(k)$ との差 $\Delta TA (=TA_t(k) - TA_{est}(k))$ が大きい程大きい値をとる関数（ ΔTA に関して単調増加する関数 f ）である。

【0066】

このように、電子制御スロットル弁モデルM1（CPU71）は、今回の演算タイミングにて遅延時間 TD 後の目標スロットル弁開度 TA_t を新たに決定すると

もに、遅延時間TD後のスロットル弁開度 TA_{est} を新たに予測・推定し、現時点から遅延時間TD経過後までの目標スロットル弁開度 TA_t と予測スロットル弁開度 TA_{est} を、現時点からの時間経過に対応させた形でRAM 73に記憶・格納する。

【0067】

<第1吸入空気モデル（実吸入空気量算出手段）A3>

第1吸入空気モデルA3は、内燃機関の吸気系における空気の挙動をモデル化した空気モデルを構成するスロットルモデルM2、吸気弁モデルM3、吸気管モデルM4、及び吸気弁モデルM5を備えていて、特定気筒の前の吸気行程での吸気弁閉弁時より後の時点であって同気筒の今回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の時点にて同気筒の前の吸気行程での吸気弁閉弁時の実際の吸入空気量である実吸入空気量 KL_{act} を、前記運転状態量取得手段A2により取得された実際の運転状態量である実際のスロットル弁開度（実スロットル弁開度 TA_{act} ）に基いて求める。上記スロットルモデルM2、吸気弁モデルM3、吸気管モデルM4、及び吸気弁モデルM5の内容については、後に詳述する。

【0068】

なお、本例では、スロットルモデルM2、吸気弁モデルM3、吸気管モデルM4、及び吸気弁モデルM5により実際の吸入空気量 KL_{act} を求めるが、これとは別に、燃料噴射気筒の前の吸気行程における吸気弁閉弁時の実スロットル弁開度 TA_{act} 、同燃料噴射気筒の前の吸気行程における吸気弁閉弁時の実エンジン回転速度NE、及びテーブル（スロットル弁開度 TA_{acc} 、エンジン回転速度NE、及び実吸入空気量 KL_{act} の関係を予め規定したテーブル）又は計算式を用いて実際の吸入空気量 KL_{act} を求めるものであってもよい。

【0069】

<第2吸入空気モデルA4>

第2吸入空気モデルA4は、第1吸入空気モデルA3が含んでいる空気モデルと同様の空気モデルを構成するスロットルモデルM20、吸気弁モデルM30、吸気管モデルM40、及び吸気弁モデルM50を備えていて、少なくとも電子制御スロットル弁モデルM1により予測・推定された予測スロットル弁開度 TA_{est} に基いて同燃料噴射気筒の今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の吸入空気量（予測吸入

空気量) KL_{fwd} を予測・推定する。上記スロットルモデルM20、吸気弁モデルM30、吸気管モデルM40、及び吸気弁モデルM50については、後に詳述する。

【 0 0 7 0 】

なお、第2空気モデルA4は、燃料噴射気筒の今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の予測スロットル弁開度 TA_{est} 、同燃料噴射気筒の今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の実エンジン回転速度 NE 、及びテーブル（スロットル弁開度 TA 、エンジン回転速度 NE 、及び吸入空気量との関係を規定したテーブル）を用いて、今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の予測吸入空気量 KL_{fwd} を求める（予測する）ように構成されていてもよい。

【 0 0 7 1 】

<目標空燃比設定手段A5>

目標空燃比設定手段は、内燃機関の運転状態であるエンジン回転速度 NE 、及び目標スロットル弁開度 TAt 等に基づいて目標空燃比 $AbyFref$ を決定する手段である。この目標空燃比 $AbyFref$ は、例えば、内燃機関の暖機終了後においては、特殊な場合を除き理論空燃比に設定されてよい。

【 0 0 7 2 】

<噴射量決定手段A6>

図5に示した噴射量決定手段A6は、第1吸入空気モデルA3により算出された特定気筒の前の吸気行程における吸気弁閉弁時の実吸入空気量 KL_{act} 、第2吸入空気モデルA4により算出された同特定気筒の今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の予測吸入空気量 KL_{fwd} 、及び目標空燃比設定手段A5により決定された目標空燃比 $AbyFref$ 等に基づいて、同特定気筒の今回の吸気行程に対する燃料噴射量 $fi(k)$ を決定する手段である。この噴射量決定手段A6は、図6の破線で囲まれた範囲内に詳細を示したように、補正前予測必要燃料量算出手段A51と、実必要燃料量算出手段A52と、実吸入燃料量算出手段（燃料挙動順モデル）A53と、燃料フィードバック補正量算出手段A54と、正規予測必要燃料量算出手段A55と、燃料噴射量算出手段（燃料挙動逆モデル）A56とを備えている。以下、燃料噴射量決定手段A6が備える手段、及びモデルについて、個別に説明を加える。

【 0 0 7 3 】

(補正前予測必要燃料量算出手段 A51)

補正前予測必要燃料量算出手段 A51は、第 2 吸入空気モデル A 4 により求められた前記特定気筒の今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の予測吸入空気量 KL_{fwd} を、目標空燃比設定手段 A 5 により求められた目標空燃比 $AbyFref$ で除する ($KL_{fwd}/AbyFref$) ことにより、補正前予測必要燃料量 $Fcfwdb$ を求める手段である。即ち、この補正前予測必要燃料量 $Fcfwdb$ は、前記特定気筒の今回の吸気行程において吸入される混合気の空燃比を目標空燃比 $AbyFref$ とするために必要とすべき燃料の量である。

【 0 0 7 4 】

(実必要燃料量算出手段 A52)

実必要燃料量算出手段 A52は、第 1 吸入空気モデル A 3 により求められた前記特定気筒の前の吸気行程における吸気弁閉弁時の実吸入空気量 $KLact$ を、目標空燃比設定手段 A 5 により設定されていた目標空燃比 $AbyFref$ で除する ($KLact/AbyFref$) ことにより、同特定気筒の前の吸気行程において空燃比を目標空燃比 $AbyFref$ とするために必要であった燃料量である実必要燃料量 $Fcact$ を求める手段である。

【 0 0 7 5 】

(実吸入燃料量算出手段 (燃料挙動順モデル) A53)

実吸入燃料量算出手段 A53は、燃料挙動の順モデルを用い、特定気筒の前の吸気行程に対して実際に噴射した燃料、即ち前回の燃料噴射量 $f_i(k-1)$ の燃料のうち、吸気系に付着することなく同気筒に吸入された燃料の量、及び吸気系に付着していた燃料のうち同気筒の筒内に吸入された燃料の量を考慮して、同気筒の前の吸気行程において同気筒の筒内に実際に吸入された燃料量である実吸入燃料量 $Fcest$ を求める手段である。

【 0 0 7 6 】

ここで、燃料挙動順モデルについて説明すると、特定気筒の前々回の吸気行程後であって前回の吸気行程直前において、同気筒の吸気ポートに付着していたポート燃料付着量を $fwp(k-1)$ 、同気筒の吸気弁に付着していたバルブ燃料付着量を $fwv(k-1)$ 、吸気ポートへの燃料付着率を Rp 、吸気弁への燃料付着率を Rv 、吸気ポ

ートへの燃料残留率を P_p 、吸気弁への燃料残留率を P_v とすると、同気筒の前回の吸気行程後であって今回の吸気行程直前において、同気筒の吸気ポートに実際に付着していたポート燃料付着量 $f_{wp}(k)$ 、及び同気筒の吸気弁に実際に付着していたバルブ燃料付着量 $f_{wv}(k)$ は、下記数 3、及び下記数 4 により求められる。下記数 3、及び下記数 4 が実燃料付着量算出手段に相当する。

【 0 0 7 7 】

【数 3】

$$f_{wp}(k) = P_p \cdot f_{wp}(k-1) + R_p \cdot f_i(k-1)$$

【 0 0 7 8 】

【数 4】

$$f_{wv}(k) = P_v \cdot f_{wv}(k-1) + R_v \cdot f_i(k-1)$$

【 0 0 7 9 】

また、特定気筒の前回の吸気行程において、同気筒に実際に吸入された実吸入燃料量 F_{cest} は、下記数 5 により求められる。下記数 5 が、燃料挙動の順モデルを表した数式である。

【 0 0 8 0 】

【数 5】

$$F_{cest} = (1-P_p) \cdot f_{wp}(k-1) + (1-P_v) \cdot f_{wv}(k-1) + (1-R_p-R_v) \cdot f_i(k-1)$$

【 0 0 8 1 】

なお、実吸入燃料量算出手段 A53 は、吸気ポートへの燃料付着率 R_p 、吸気弁への燃料付着率 R_v 、吸気ポートへの燃料残留率 P_p 、及び吸気弁への燃料残留率 P_v を、前回の吸気行程での吸気弁閉弁時における実際の吸入空気量 KL_{act} （又は、同吸気弁閉時における実際のスロットル弁開度）、同吸気弁閉時の実際のエンジン回転速度 NE （但し、実吸入空気量 KL_{act} 算出時のエンジン回転速度 NE でも良い。）、及び同吸気弁閉時の実際の吸気弁開閉タイミング VT （但し、実吸入空気量 KL_{act} 算出時の吸気弁開閉タイミング VT を用いても良い。）等に基づいて決定し、この決定した付着率、及び残留率と、上記数 3 ～ 上記数 5 とに基づいて、実吸入燃料量 F_{cest} を気筒毎に算出する。

【 0 0 8 2 】

(燃料フィードバック補正量算出手段 A54)

燃料フィードバック補正量算出手段 A54は、特定気筒の前回の吸気行程における燃料の過不足分を表す「実必要燃料量 F_{cact} と実吸入燃料量 F_{cest} の差」、即ち、吸入燃料量誤差 $F_{cerr}(k)$ に基いて、燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ を求める手段である。燃料フィードバック補正量算出手段 A54は、本例においては、P I (比例・積分) コントローラであり、吸入燃料量誤差 $F_{cerr}(k)$ を下記数 6 により求めるとともに、燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ を下記数 7、及び下記数 8 により求める。下記数 7、及び下記数 8 における $\text{Sum}F_{cerr}$ は吸入燃料量誤差 F_{cerr} の積分値である。係数 K_p 、及び係数 K_i は、それぞれ比例定数、及び積分定数であって、前記 P I コントローラの設計段階にて一旦決定された後は変更される必要がない値である。

【 0 0 8 3 】

【数 6】

$$F_{cerr}(k) = F_{cact} - F_{cest}$$

【 0 0 8 4 】

【数 7】

$$F_{fb}(k) = K_p \cdot F_{cerr}(k) + K_i \cdot \text{Sum}F_{cerr}(k-1)$$

【 0 0 8 5 】

【数 8】

$$\text{Sum}F_{cerr}(k) = \text{Sum}F_{cerr}(k-1) + F_{cerr}(k)$$

【 0 0 8 6 】

(正規予測必要燃料量算出手段 A55)

正規予測必要燃料量算出手段 A55は、上記のように求めた補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ を燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ により補正して、特定気筒の正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ を求める手段である。具体的には、上記数 1 と同じ下記数 9 に示したように、補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ に燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ 加えた値を正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ として求める。

【 0 0 8 7 】

【数 9】

$$F_{cfwd}(k) = F_{cfwdb}(k) + F_{fb}(k)$$

【 0 0 8 8 】

(燃料噴射量算出手段 (燃料挙動逆モデル) A56)

燃料噴射量算出手段 A56 は、燃料挙動の逆モデルを用い、噴射した燃料のうち吸気ポートや吸気弁の吸気系に付着することなく筒内に吸入される燃料の量、及び吸気系に付着していた燃料のうち筒内に吸入される燃料の量を考慮して、前記正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ の燃料を燃料噴射気筒に供給するために必要とされる今回の燃料噴射量 $f_i(k)$ を算出する手段である。

【 0 0 8 9 】

ここで、前記燃料挙動モデルの逆モデルについて説明すると、上記実吸入燃料量算出手段 (燃料挙動順モデル) A53 により使用される上記式 3、及び上記式 4 により既に求められている、特定気筒の前回の吸気行程後であって今回の吸気行程直前における同気筒の吸気ポートに実際に付着しているポート燃料付着量 $f_{wp}(k)$ 、及び同気筒の吸気弁に実際に付着しているバルブ燃料付着量 $f_{wv}(k)$ (実燃料付着量) を使用し、且つ、吸気ポートへの燃料付着率を R_{pf} 、吸気弁への燃料付着率を R_{vf} 、吸気ポートへの燃料残留率を P_{pf} 、吸気弁への燃料残留率を P_{vf} とするとき、同気筒の今回の吸気行程に対して燃料噴射量 $f_i(k)$ の燃料を噴射したと仮定した場合に同気筒に吸入される燃料量 F_{in} は、下記数 10 で表される。

【 0 0 9 0 】

【数 10】

$$F_{in} = (1 - R_{pf} - R_{vf}) \cdot f_i(k) + (1 - P_{pf}) \cdot f_{wp}(k) + (1 - P_{vf}) \cdot f_{wv}(k)$$

【 0 0 9 1 】

従って、特定気筒の今回の吸気行程において正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ が同特定気筒に吸入されるためには、上記燃料量 F_{in} を正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ と等しいと置いて、燃料噴射量 $f_i(k)$ を求めればよく、計算結果は下記数 11 の通りとなる。この数 11 が、燃料挙動の逆モデルを数式化したものである。

【 0 0 9 2 】

【数 11】

$$f_i(k) = (F_{cfwd}(k) - (1 - P_{pf}) \cdot f_{wp}(k) - (1 - P_{vf}) \cdot f_{wv}(k)) / (1 - R_{pf} - R_{vf})$$

【 0 0 9 3 】

燃料噴射量算出手段 A56 は、予測吸入空気量 KL_{fwd} の算出に用いた吸気弁閉弁時の予測吸入空気量 KL_{fwd} (又は、同吸気弁閉弁時の予測スロットル弁開度 TA_{est})、吸気弁閉弁時の予測されるエンジン回転速度 NE (但し、短時間内に変化する量が少ないとして予測吸入空気量 KL_{fwd} 算出時のエンジン回転速度 NE を用いても良い。)、及び吸気弁閉弁時の予測される吸気弁開閉タイミング VT (但し、短時間内に変化する量が少ないとして予測吸入空気量 KL_{fwd} 算出時の吸気弁開閉タイミング VT を用いても良い。)等に基づいて吸気ポートへの燃料付着率 R_{pf} 、吸気弁への燃料付着率 R_{vf} 、吸気ポートへの燃料残留率 P_{pf} 、及び吸気弁への燃料残留率 P_{vf} を求め、これらと上記数 11 とを用いて燃料噴射量 $f_i(k)$ を求める。

【 0 0 9 4 】

ここで、上記噴射量決定手段 A6 の各手段の計算タイミングについて、特定気筒の各行程と計算タイミングとを図示した図 10 を参照しながら説明する。まず、今回の吸気行程の吸気行程 A に対する燃料噴射 A の噴射量 $f_i(k)$ を決定する場合について考えると、前回の吸気行程 B に対する吸気弁閉弁時 B よりも後の時点であって今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A よりも前の時点 (第 3 所定時点) にて、第 1 吸入空気モデル A3 により実吸入空気量 KL_{act} が算出される。今回の吸気行程 A に対して燃料噴射 A により燃料を供給する場合、第 3 所定時点は同燃料噴射 A の開始より前の時点であることが好ましい。

【 0 0 9 5 】

次いで、前記第 3 所定時点より後の時点であって前記気筒の今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前の所定時点である第 4 所定時点にて、実必要燃料量算出手段 A52 により前記算出された実吸入空気量 KL_{act} に基づいて同気筒の前回の吸気行程 B において同気筒に実際に必要とされていた燃料量である実必要燃料量 F_{cact} が算出される。

【 0 0 9 6 】

そして、今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前であって前回の吸気行程 B に対する燃料噴射量が確定した時点 (例えば、前回の燃料噴射量 $f_i(k-1)$ 算出時点) よりも後の第 5 所定時点にて、同気筒の前回の吸気行程において同気

筒が実際に吸入した燃料量である実吸入燃料量 F_{cest} が同気筒の前回の吸気行程 B に対し実際に噴射された燃料噴射量（燃料噴射量） $f_i(k-1)$ に基いて算出される。

【 0 0 9 7 】

この第 4 所定時点、及び第 5 所定時点より後の時点であって今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前の第 6 所定時点にて、燃料フィードバック補正量算出手段 A54 により、前記算出された実必要燃料量 F_{cact} と前記算出された実吸入燃料量 F_{cest} とに基いて燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ が算出される。

【 0 0 9 8 】

一方、特定気筒の今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前の第 1 所定時点にて、予測吸入空気量算出手段 A 4 により、同気筒の今回の吸気行程 A での吸気弁閉弁時 A の吸入空気量である予測吸入空気量 KL_{fwd} が算出される。第 1 所定時点は、今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前の時点であれば、理論上、いつでもよいが、予測吸入空気量 KL_{fwd} の予測精度を高めるためには、できるだけ今回の吸気弁閉弁時 A に近い時点が好ましい。実際には、第 1 所定時点は、今回の噴射 A の開始時点の直前が好適である。

【 0 0 9 9 】

また、第 1 所定時点より後の時点であって前記気筒の今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前の第 2 所定時点にて、補正前予測必要燃料量算出手段 A 51 により、前記予測吸入空気量 KL_{fwd} に基いて同気筒の今回の吸気行程 A に対し同気筒に吸入されるべき仮の燃料量である補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ が算出される。なお、第 1 所定時点、及び第 2 所定時点は、第 3 ～ 第 5 所定時点より前の時点であってもよい。

【 0 1 0 0 】

次いで、前記第 2 所定時点、及び前記第 6 所定時点より後の時点であって前記気筒の今回の吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前の第 7 所定時点にて、正規予測必要燃料量算出手段 A55 により、前記算出された補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ が前記算出された燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ により補正され、同気筒の今回の吸気行程 A に対し同気筒に吸入されるべき正規の予測必要燃料量 F_c

$f_{wd}(k)$ が算出される。

【0101】

そして、前記第7所定時点より後の時点であって今回の吸気行程Aに対する吸気弁閉弁時Aより前の時点である第8所定時点にて前記気筒の今回の吸気行程に対して噴射すべき燃料噴射量 $f_i(k)$ が前記算出された正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ に基いて算出され、同第8所定時点より後の時点であって今回の吸気行程Aに対する吸気弁閉弁時Aより前の時点である第9所定時点にて同燃料噴射量 $f_i(k)$ だけ燃料を噴射するように指示がなされ、これにより燃料噴射Aが実行される。以上の動作が、一つの気筒の任意の吸気行程と、同一の気筒の同任意の吸気行程に続く次の吸気行程との間に行われる。

【0102】

次に、上述した第1吸入空気モデルA3、及び第2吸入空気モデルA4について詳細に説明する。図5に示したように、第1吸入空気モデルA3はモデルM2～M5を備えている。第2吸入空気モデルA4は、モデルM2～M5にそれぞれ対応する同一のモデルM20～M50を含んでいて、第1吸入空気モデルA3とは使用する（入力する）パラメータのみが異なる。従って、以下、第1吸入空気モデルA3を主として説明し、第2吸入空気モデルA4については第1吸入空気モデルA3との相違点についてのみ説明する。

【0103】

（スロットルモデルM2）

スロットルモデルM2は、スロットル弁43を通過した空気流量（スロットル通過空気流量） m_t を、エネルギー保存則、運動量保存則、質量保存則、及び状態方程式等の物理法則に基づいて得られた下記数12に基づいて推定するモデルである。下記数12において、 $C_t(\theta_t)$ はスロットル弁開度 $\theta_t(=TA)$ に応じて変化する流量係数、 $A_t(\theta_t)$ はスロットル弁開度 $\theta_t(=TA)$ に応じて変化するスロットル開口面積（吸気管41の開口面積）、 P_a はスロットル弁上流圧力（即ち、大気圧）、 P_m は吸気管圧力（吸気管内空気圧力）、 T_a は吸気温度（大気温度）、 T_m は吸気管内空気温度、 R は気体定数、及び κ は比熱比（以下、 κ を一定値として扱う。）である。

【 0 1 0 4 】

【数 1 2】

$$m_t = C_t(\theta_t)A_t(\theta_t)P_a \sqrt{\frac{\kappa+1}{2\kappa RT_a}} \sqrt{\left(\frac{\kappa}{\kappa+1}\right)^2 - \left(\frac{P_m}{P_a} - \frac{1}{\kappa+1}\right)^2}$$

【 0 1 0 5 】

ここで、上記スロットルモデルM2を記述した上記数12の導出過程について説明する。いま、スロットル弁43の上流の開口断面積を A_u 、空気密度を ρ_u 、空気の流速を v_u とし、スロットル弁43による吸気管41の開口断面積を A_d 、そこでの空気密度を ρ_d 、スロットル弁43を通過する空気の流速を v_d とすると、スロットル通過空気流量 m_t は、下記数13で表される。数13は質量保存則を記述した式と言える。

【 0 1 0 6 】

【数 1 3】

$$m_t = A_d \cdot \rho_d \cdot v_d = A_u \cdot \rho_u \cdot v_u$$

【 0 1 0 7 】

一方、運動エネルギーは、空気の質量を m とすると、スロットル弁43の上流で $m \cdot v_u^2 / 2$ であり、スロットル弁43を通過する場所で $m \cdot v_d^2 / 2$ である。他方、熱エネルギーは、スロットル弁43の上流で $m \cdot C_p \cdot T_u$ であり、スロットル弁43を通過する場所で $m \cdot C_p \cdot T_d$ である。従って、エネルギー保存則により、下記数14が得られる。なお、 T_u はスロットルバルブ上流の空気温度、 T_d はスロットルバルブ下流の空気温度、 C_p は定圧比熱である。

【 0 1 0 8 】

【数 1 4】

$$m \cdot v_u^2 / 2 + m \cdot C_p \cdot T_u = m \cdot v_d^2 / 2 + m \cdot C_p \cdot T_d$$

【 0 1 0 9 】

ところで、状態方程式は下記数15、比熱比 κ は下記数16、マイヤーの関係は下記数17で示されるから、数15～数17より $C_p \cdot T$ は下記数18のように表される。なお、 P は気体の圧力、 ρ は気体の密度、 T は気体の温度、 R は気体定数、 C_v は定容比熱である。

【 0 1 1 0 】

【数 1 5】

$$P = \rho \cdot R \cdot T$$

【 0 1 1 1 】

【数 1 6】

$$\kappa = C_p / C_v$$

【 0 1 1 2 】

【数 1 7】

$$C_p = C_v + R$$

【 0 1 1 3 】

【数 1 8】

$$C_p \cdot T = \{ \kappa / (\kappa - 1) \} \cdot (P / \rho)$$

【 0 1 1 4 】

上記数 1 8 の関係を用いて上記エネルギー保存則に基づく数 1 4 を書換えると、下記数 1 9 が得られる。ここで、 P_u はスロットル弁 4 3 上流の空気圧力、 P_d はスロットル弁 4 3 の下流の空気圧力（即ち、吸気管圧力 P_m ）である。

【 0 1 1 5 】

【数 1 9】

$$v_u^2 / 2 + \{ \kappa / (\kappa - 1) \} \cdot (P_u / \rho_u) = v_d^2 / 2 + \{ \kappa / (\kappa - 1) \} \cdot (P_d / \rho_d)$$

【 0 1 1 6 】

そして、スロットル弁 4 3 の無限上流を考えると、 $A_u = \infty$ 、 $v_u = 0$ であるから、エネルギー保存則に基づく上記数 1 9 は下記数 2 0 に書き換えられる。

【 0 1 1 7 】

【数 2 0】

$$\{ \kappa / (\kappa - 1) \} \cdot (P_u / \rho_u) = v_d^2 / 2 + \{ \kappa / (\kappa - 1) \} \cdot (P_d / \rho_d)$$

【 0 1 1 8 】

次に、運動量について記述する。断面積 A_u の部分に加わる圧力を P_u 、断面積 A_d の部分に加わる圧力を P_d 、断面積 A_u の部分と断面積 A_d の部分との間をつなぐ固定された空間の平均圧力を P_{mean} とすると、下記数 2 1 が得られる。

【 0 1 1 9 】

【数 2 1】

$$\rho d \cdot v d^2 \cdot A d - \rho u \cdot v u^2 \cdot A u = P u \cdot A u - P d \cdot A d + P_{mean} \cdot (A d - A u)$$

【 0 1 2 0 】

上記数 2 1 で、 $A u = \infty$ 、 $v u = 0$ を考慮すると、下記数 2 2 が得られるので、同数 2 2 と上記数 2 1 とから下記数 2 3 の運動量に関する関係（運動量保存則に基づく関係）が得られる。

【 0 1 2 1 】

【数 2 2】

$$P_{mean} = P u$$

【 0 1 2 2 】

【数 2 3】

$$\rho d \cdot v d^2 = P u - P d$$

【 0 1 2 3 】

従って、上記数 1 3、上記数 2 0、及び数 2 3 から、下記数 2 4 が得られる。

【 0 1 2 4 】

【数 2 4】

$$m_t = A d \sqrt{P u \cdot \rho u} \sqrt{\left(\frac{P d}{P u} + \frac{1}{2} \frac{\kappa - 1}{\kappa} \left(1 - \frac{P d}{P u} \right) \right) \left(1 - \frac{P d}{P u} \right)}$$

【 0 1 2 5 】

上記数 2 4 において、 $P u$ はスロットル弁上流圧力 $P a$ であり、 $P d$ は吸気管圧力 $P m$ である。また、状態方程式から $\rho u = M / V u = P u / (R \cdot T u)$ を上記数 2 4 に代入するとともに、開口断面積 $A d$ を開口面積 $A(\theta t)$ と置きなおし、更に流量係数を $C t(\theta t)$ を加えて上記数 2 4 を整理すると、上記数 1 2 が得られる。

【 0 1 2 6 】

次に、スロットルモデル M 2 におけるスロットル通過空気流量 m_t の求め方を述べると、上記数 1 2 は下記数 2 5 及び下記数 2 6 により表され、 k_1 を $C t(\theta t) \cdot A t(\theta t) \cdot \{P a / (R \cdot T a)\}^{1/2}$ とおき、 m_{ts} を吸気弁閉弁時のスロットル通過空気流

量とするとき下記数 2 5 は下記数 2 7 に書き換えられる。

【 0 1 2 7 】

【数 2 5】

$$m_t = C_t(\theta t) \cdot A_t(\theta t) \cdot \{P_a / (R \cdot T_a)^{1/2}\} \cdot \Phi(P_m/P_a)$$

【 0 1 2 8 】

【数 2 6】

$$\Phi(P_m/P_a) = \sqrt{\frac{\kappa+1}{2\kappa}} \sqrt{\left(\frac{\kappa}{\kappa+1}\right)^2 - \left(\frac{P_m}{P_a} - \frac{1}{\kappa+1}\right)^2}$$

【 0 1 2 9 】

【数 2 7】

$$m_{ts} = k_1 \cdot \Phi(P_m/P_a)$$

【 0 1 3 0 】

また、数 2 7 において、内燃機関 1 0 が定常状態にある場合（スロットル弁開一定のまま推移して吸気弁閉弁に至る場合）のスロットル通過空気流量を m_{tsTA} 、及びそのときの吸気管圧力を P_{mTA} とすると、下記数 2 8 が得られるので、数 2 7 及び数 2 8 から係数 k_1 を消去して下記数 2 9 を得ることができる。

【 0 1 3 1 】

【数 2 8】

$$m_{tsTA} = k_1 \cdot \Phi(P_{mTA}/P_a)$$

【 0 1 3 2 】

【数 2 9】

$$m_{ts} = \{m_{tsTA} / \Phi(P_{mTA}/P_a)\} \cdot \Phi(P_m/P_a)$$

【 0 1 3 3 】

上記数 2 9 の右辺における値 m_{tsTA} は、スロットル弁開度 TA が一定である定常運転状態での吸入空気流量（スロットル通過空気流量）に関する値であり、このような定常運転状態にあってはスロットル通過空気流量 m_t と筒内吸入空気流量 m_c とは等しくなる。そこで、スロットルモデル M 2 は、後述する吸気弁モデル M 3 で用いる経験則により得られた式（下記数 3 0）を用いて現時点から演算周期 Δ

Tt だけ前の時点の筒内吸入空気流量 mc を求め、これを値 $mtsTA$ とする。なお、この値 $mtsTA$ (=筒内吸入空気流量 mc) を求める際の各パラメータ (エンジン回転速度 NE 、及び吸気弁開閉タイミング VT) は、総べて現時点から演算周期 ΔTt 前での実際の値を用いる。

【 0 1 3 4 】

また、スロットルモデル $M2$ は、スロットル弁開度 TA 、エンジン回転速度 NE 、及び吸気弁の開閉タイミング VT と、吸気管圧力 Pm との関係を規定するテーブル $MAPPM$ をROM 72内に記憶していて、現時点から演算周期 ΔTt 前に検出された実際のスロットル弁開度 (実スロットル弁開度) $TA_{act}(k-1)$ 、現時点から演算周期 ΔTt 前の実際のエンジン回転速度 NE 、及び現時点から演算周期 ΔTt 前の実際の吸気弁の開閉タイミング VT と、前記テーブル $MAPPM$ とに基づいて上記数29の右辺における吸気管圧力 $PmTA$ ($=MAPPM(TA_{act}(k-1), NE, VT)$) を求める。

【 0 1 3 5 】

更に、スロットルモデル $M2$ は、値 Pm/Pa と値 $\Phi(Pm/Pa)$ との関係を規定するテーブル $MAP\Phi$ を記憶していて、前記吸気管圧力 $PmTA$ をスロットル弁上流圧力 Pa で除した値 ($PmTA/Pa$) と、前記テーブル $MAP\Phi$ とから、上記数29の右辺における値 $\Phi(PmTA/Pa)$ ($=MAP\Phi(PmTA/Pa)$) を求める。同様にして、スロットルモデル $M2$ は、後述する吸気管モデル $M4$ が既に求めている前回の吸気管圧力 $Pm(k-1)$ をスロットル弁上流圧力 Pa で除した値 ($Pm(k-1)/Pa$) と、前記テーブル $MAP\Phi$ とから、上記数29の右辺における値 $\Phi(Pm/Pa)$ ($=MAP\Phi(Pm(k-1)/Pa)$) を求める。以上により、上記数29の右辺の各因数が求められるので、これらを掛け合わせるにより、スロットル通過空気流量 $mts(=mt(k-1))$ が求められる。

【 0 1 3 6 】

(吸気弁モデル $M3$)

吸気弁モデル $M3$ は、吸気管圧力 Pm 、吸気管内温度 Tm 、及び吸気温度 THA 等から筒内吸入空気流量 mc を推定するモデルである。吸気弁閉弁時の気筒内圧力は吸気弁32の上流の圧力、即ち吸気弁閉弁時の吸気管圧力 Pm とみなすことができるので、筒内吸入空気流量 mc は吸気弁閉弁時の吸気管圧力 Pm に比例する。そこで、吸気弁モデル $M3$ は筒内吸入空気流量 mc を、経験則に基づく下記数30にしたが

って求める。

【 0 1 3 7 】

【数 3 0】

$$mc = (THA/Tm) \cdot (c \cdot Pm - d)$$

【 0 1 3 8 】

数 3 0 において、値 c は比例係数、値 d は筒内に残存していた既燃ガス量に対応する量である。吸気弁モデル M 3 は、エンジン回転速度 NE 、及び吸気弁の開閉タイミング VT と、比例係数 c 、及び既燃ガス量 d との関係をそれぞれ規定するテーブル $MAPC$ 、及び $MAPD$ を ROM 7 2 内に格納していて、現時点から演算周期 ΔTt 前の実際のエンジン回転速度 NE と、現時点から演算周期 ΔTt 前の実際の吸気弁の開閉タイミング VT と、前記格納しているテーブルとから比例係数 $c (= MAPC(NE, VT))$ 、及び既燃ガス量 $d (= MAPD(NE, VT))$ を求める。また、吸気弁モデル M 3 は、演算時点にて、後述する吸気管モデル M 4 により既に推定されている直前（最新）の吸気弁閉弁時の吸気管圧力 $Pm (= Pm(k-1))$ と直前の吸気管内空気温度 $Tm (= Tm(k-1))$ とを上記数 3 0 に適用し、吸気弁閉弁時の筒内吸入空気流量 $mc (= mc(k-1))$ を推定する。

【 0 1 3 9 】

（吸気管モデル M 4）

吸気管モデル M 4 は、質量保存則とエネルギー保存則とにそれぞれ基づいた下記数 3 1 及び下記数 3 2、スロットル通過空気流量 mt 、スロットル通過空気温度（即ち、吸入空気温度 THA ） Ta 、及び吸気管から流出する空気流量 mc （即ち、筒内吸入空気流量）から、吸気管圧力 Pm 、及び吸気管内空気温度 Tm を求めるモデルである。なお、下記数 3 1、及び下記数 3 2 において、 Vm はスロットル弁 4 3 から吸気弁 3 2 までの吸気管 4 1（以下、単に「吸気管部」と称呼する。）の容積である。

【 0 1 4 0 】

【数 3 1】

$$d(Pm/Tm) / dt = (R/Vm) \cdot (mt - mc)$$

【 0 1 4 1 】

【数 3 2】

$$dP_m/dt = \kappa \cdot (R/V_m) \cdot (m_t \cdot T_a - m_c \cdot T_m)$$

【0 1 4 2】

吸気管モデルM4は、上記数31、及び上記数32の右辺におけるスロットル通過空気流量 m_t ($=m_t(k-1)$) をスロットルモデルM2から取得し、筒内吸入空気流量 m_c ($=m_c(k-1)$) を吸気弁モデルM3から取得する。そして、数31及び数32に基づく計算を行って最新の吸気管圧力 P_m ($=P_m(k)$)、及び吸気管内空気温度 T_m ($=T_m(k)$) を推定する。

【0 1 4 3】

ここで、上記吸気管モデルM4を記述した数31及び数32の導出過程について説明する。いま、吸気管部の総空気量を M とすると、総空気量 M の時間的变化は、吸気管部に流入する空気量に相当するスロットル通過空気流量 m_t と同吸気管部から流出する空気量に相当する筒内吸入空気流量 m_c の差であるから、質量保存則に基づく下記数33が得られる。

【0 1 4 4】

【数 3 3】

$$dM/dt = m_t - m_c$$

【0 1 4 5】

また、状態方程式は下記数34となるから、上記数33と下記数34とから総空気量 M を消去することにより、質量保存則に基づく上記数31が得られる。

【0 1 4 6】

【数 3 4】

$$P_m \cdot V_m = M \cdot R \cdot T_m$$

【0 1 4 7】

次に、吸気管部に関するエネルギー保存則について検討すると、この場合、吸気管部の容積 V_m は変化せず、また、エネルギーの殆どが温度上昇に寄与する（運動エネルギーは無視し得る）と考えられる。従って、吸気管部の空気のエネルギー $M \cdot C_v \cdot T_m$ の時間的变化量は、同吸気管部に流入する空気のエネルギー $C_p \cdot m_t \cdot T_a$ と同吸気管部から流出する空気のエネルギー $C_p \cdot m_c \cdot T_m$ との差に等しいので、下記

数 3 5 が得られる。

【 0 1 4 8 】

【数 3 5】

$$d(M \cdot C_v \cdot T_m) / dt = C_p \cdot m_t \cdot T_a - C_p \cdot m_c \cdot T_m$$

【 0 1 4 9 】

この数 3 5 を、上記数 1 6 ($\kappa = C_p / C_v$) と、上記数 3 4 ($P_m \cdot V_m = M \cdot R \cdot T_m$) とを用いて変形することにより、上記数 3 2 が得られる。

【 0 1 5 0 】

(吸気弁モデル M 5)

吸気弁モデル M 5 は、上記吸気弁モデル M 3 と同様のモデルを含んでいて、ここでは吸気管モデル M 4 が算出した最新の吸気管圧力 $P_m (= P_m(k))$ 、及び吸気管内空気温度 $T_m (= T_m(k))$ と、現時点のエンジン回転速度 NE と、現時点の吸気弁の開閉タイミング VT と、前記マップ $MAPC$ と、前記マップ $MAPD$ と、上記経験則に基づく数 3 0 ($m_c = (THA / T_m) \cdot (c \cdot P_m - d)$) とを用いて最新の筒内吸入空気流量 $m_c (= m_c(k))$ を求める。そして、吸気弁モデル M 5 は、前記求めた筒内吸入空気流量 m_c に、エンジン回転速度 NE から算出された前回の吸気行程 B において吸気弁 3 2 が開弁してから閉弁するまでの時間 T_{int} を乗じることにより吸入空気量 KL_{act} を求める。なお、吸気弁モデル M 5 は、このような演算を各気筒毎に行うとともに、各気筒別に同各気筒の吸気弁閉弁時直後において求められた吸入空気量 KL_{act} を、同各気筒の実際の吸入空気量 (実吸入空気量) KL_{act0} として噴射量決定手段 A 6 に出力する。

【 0 1 5 1 】

以上、説明したように、第 1 吸入空気モデル A 3 は、特定の気筒の前回の吸気行程 B での吸気弁閉弁時 B より後の時点であって同気筒の今回の (次の) 吸気行程 A に対する吸気弁閉弁時 A より前の第 3 所定時点 (実際には、吸気行程 B に対する吸気弁閉弁直後の時点) にて同気筒の前回の吸気行程 B での吸気弁閉弁時 B の実際の吸入空気量である実吸入空気量 KL_{act} を、運転状態量取得手段 A 2 であるスロットルポジションセンサ 6 4 により取得された実際の運転状態量、即ち実スロットル弁開度 TA_{act} とモデル M 2 ~ M 5 からなる内燃機関の吸気系における

空気の挙動をモデル化した空気モデルとに基づいて算出する。

【 0 1 5 2 】

< 第 2 吸入空気モデル A 4 >

第 2 吸入空気モデル（第 2 空気モデル）A 4 は、内燃機関の吸気系における空気の挙動をモデル化した第 1 吸入空気モデルの空気モデルと同様なモデルであって、スロットルモデル M20、吸気弁モデル M30、吸気管モデル M40、及び吸気弁モデル M50 を備えている。この第 2 吸入空気モデル A 4 は、今回の吸気行程 A の吸気弁閉弁時 A の吸入空気量 KL_{fwd} を予測するため、第 1 吸入空気モデル A 3 が実スロットル弁開度 TA_{act} を入力するのに対し、上述した電子制御スロットル弁モデル M 1 により推定される予測スロットル弁開度 TA_{est} を入力する点で、同第 1 吸入空気モデル A 3 と異なる。

【 0 1 5 3 】

（スロットルモデル M20）

スロットルモデル M20 は、上記数 2 9 に基き、将来の（所定時間、例えば遅延時間 TD だけ後の）時点におけるスロットル通過空気流量 mt を予測する。この場合においても、上記数 2 9 の右辺の mts_{TA} は、筒内吸入空気流量 mc と等しいと考えられるので、後述する吸気弁モデル M30 で用いる上記数 3 0 により同値 mts_{TA} を求める。なお、値 mts_{TA} を求める際の各パラメータ（エンジン回転速度 NE 、及び吸気弁開閉タイミング）は、便宜上、現時点での値とする。

【 0 1 5 4 】

また、スロットルモデル M20 は、燃料噴射開始時期直前（ $BTDC 90^\circ CA$ ）から吸気弁閉弁時までの時間をエンジン回転速度 NE から求め、この時間と略一致する遅延時間後の予測スロットル弁開度 TA_{est} を $RAM 72$ から読み出し、それを予測スロットル弁開度 $TA_{est}(k-1)$ とする。そして、この予測スロットル弁開度 $TA_{est}(k-1)$ 、現時点から演算周期 ΔT_t だけ前の実際のエンジン回転速度 NE 、及び現時点から演算周期 ΔT_t 前の実際の吸気弁の開閉タイミング VT と、前記テーブル $MAPP$ M とに基いて上記数 2 9 の右辺における吸気管圧力 P_{mTA} ($=MAPP(M, TA_{est}(k-1), NE, VT)$) を求める。

【 0 1 5 5 】

更に、スロットルモデルM20は、前記吸気管圧力 P_{mTA} をスロットル弁上流圧力 P_a で除した値 (P_{mTA}/P_a) と、前記テーブルMAP Φ とから、上記数 2 9 の右辺における値 Φ (P_{mTA}/P_a) ($=MAP\Phi(P_{mTA}/P_a)$) を求める。同様にして、スロットルモデルM20は、後述する吸気管モデルM40が既に求めている前回の吸気管圧力 $P_m(k-1)$ をスロットル弁上流圧力 P_a で除した値 ($P_m(k-1)/P_a$) と、前記テーブルMAP Φ とから、上記数 2 9 の右辺における値 Φ (P_m/P_a) ($=MAP\Phi(P_m(k-1)/P_a)$) を求める。以上により、上記数 2 9 の右辺の各因数が求められるので、これらを掛け合わせるにより、予測スロットル通過空気流量 $mts(=mt(k-1))$ が求められる。

【 0 1 5 6 】

(吸気弁モデルM30)

吸気弁モデルM30は、筒内吸入空気流量 mc を上記経験則に基づく数 3 0 にしたがって求める。具体的には、比例係数 c を実際のエンジン回転速度 NE と、実際の吸気弁の開閉タイミング VT と、 $MAPC(NE, VT)$ とから求め、既燃ガス量 d を、実際のエンジン回転速度 NE と、実際の吸気弁の開閉タイミング VT と、 $MAPD(NE, VT)$ とから求める。また、吸気弁モデルM30は、演算時点にて、後述する吸気管モデルM40により既に推定されている最新の吸気管圧力 $P_m(=P_m(k-1))$ と最新の吸気管内空気温度 $T_m(=T_m(k-1))$ とを上記数 3 0 に適用し、筒内吸入空気流量 $mc(=mc(k-1))$ を推定する。

【 0 1 5 7 】

(吸気管モデルM40)

吸気管モデルM40は、上記数 3 1 及び上記数 3 2、スロットルモデルM20により求められたスロットル通過空気流量 mt 、実際のスロットル通過空気温度 (即ち、吸入空気温度 THA) T_a 、及び吸気弁モデルM30により求められた吸気管から流出する空気流量 mc (即ち、筒内吸入空気流量) から、吸気管圧力 P_m 、及び吸気管内空気温度 T_m を求める。

【 0 1 5 8 】

(吸気弁モデルM50)

吸気弁モデルM50は、入力するパラメータが異なる点を除き、上記吸気弁モデ

ルM30と同様のモデルであり、吸気管モデルM40が算出した最新の吸気管圧力 P_m ($=P_m(k)$)、及び吸気管内空気温度 T_m ($=T_m(k)$)と、上記経験則に基づく数30 ($m_c = (THA/T_m) \cdot (c \cdot P_m - d)$) を用いて筒内吸入空気流量 m_c ($=m_c(k)$) を求める。そして、吸気弁モデルM50は、前記求めた筒内吸入空気流量 m_c に、エンジン回転速度NEから算出される吸気行程に要する時間（吸気弁32が開弁してから閉弁するまでの時間） T_{int} を乗じることにより予測吸入空気量 KL_{fwd} を求める。吸気弁モデルM50は、このような演算を各気筒毎に所定時間の経過毎に行う。

【0159】

このように、第2空気モデルA4は、予測吸入空気量 KL_{fwd} を所定時間の経過毎に更新するが、燃料噴射開始時期直前（BTDC90°CA）から吸気弁閉弁時までの時間と略一致する遅延時間後の予測スロットル弁開度 TA_{est} に基いて予測吸入空気量 KL_{fwd} を計算すること、及び同燃料噴射開始時期直前の時点での予測吸入空気量 KL_{fwd} に基いて補正前予測必要燃料量 F_{cfwdb} が計算されことから、同第2空気モデルA4は、ある気筒の吸気行程に対する吸気弁閉弁時の予測スロットル弁開度 TA_{est} に基いて、吸入空気量を実質的に予測する予測吸入空気量算出手段を構成していることになる。

【0160】

即ち、第2吸入空気モデルA4は、特定の気筒の今回の吸気行程Aに対する吸気弁閉弁時Aより前の第1所定時点（本例においては、同気筒の今回の吸気行程に対する燃料噴射開始（BTDC75°CA）前の所定のタイミング、具体的にはBTDC90°CA）にて同気筒の今回の吸気行程Aでの吸気弁閉弁時Aの吸入空気量である予測吸入空気量 KL_{fwd} を、運転状態量予測手段である電子制御スロットル弁モデルM1により予測された同第1所定時点より先の時点における運転状態量、即ち、今回の吸気行程Aの吸気弁閉弁時A近傍の時点の予測スロットル弁開度 TA_{est} とモデルM20～M50とに基づいて算出するのである。以上、図5及び図6に示した各モデル、及び各手段により、燃料噴射量 f_i が計算される。

【0161】

また、先に述べたように、第2吸入空気モデルA4は、第1吸入空気モデルA3が実スロットル弁開度 TA_{act} を入力するのに対し、予測スロットル弁開度 TA_{est}

を入力する点でのみ、同第 1 吸入空気モデル A 3 と異なる。従って、内燃機関 1 0 が所定時間以上継続して定常運転状態にあるときには、上記数 2、並びに、図 8 及び図 9 から理解できるように、予測スロットル弁開度 TA_{est} は、実スロットル弁開度 TA_{act} (、及び目標スロットル弁開度 TA_t) と等しくなる。よって、第 2 吸入空気モデル A 4 により算出される予測吸入空気量 KL_{fwd} は第 1 吸入空気モデル A 3 により算出される実吸入空気量 KL_{act} と等しくなって、同予測吸入空気量 KL_{fwd} と目標空燃比 A_{byFref} とに基いて算出される補正前予測必要燃料量 F_{cfwdb} も、同実吸入空気量 KL_{act} と同目標空燃比 A_{byFref} とに基いて算出される実必要燃料量 F_{cact} と等しくなる。

【 0 1 6 2 】

他方、内燃機関 1 0 が所定時間以上継続して定常運転状態にあるときには、正規予測必要燃料量 F_{cfwd} が燃料噴射量 f_i 及び実吸入燃料量 F_{cest} と等しくなり、且つ、P I コントローラの入力値である吸入燃料量誤差 F_{cerr} が「0」となって実必要燃料量 F_{cact} が実吸入燃料量 F_{cest} と等しくなる。この結果、補正前予測必要燃料量 F_{cfwdb} が正規予測必要燃料量 F_{cfwd} と等しくなることから燃料フィードバック補正量 F_{fb} も「0」となる必要がある。よって、このとき、吸入燃料量誤差 F_{cerr} の積分値 $SumF_{cerr}$ も「0」となる。

【 0 1 6 3 】

以上のことから、内燃機関 1 0 の運転状態が所定時間以上定常運転状態に維持される毎に、実必要燃料量 F_{cact} と実吸入燃料量 F_{cest} の差である吸入燃料量誤差 F_{cerr} の積分値 $SumF_{cerr}$ が「0」となることが保証されることになる。他方、前記積分値 $SumF_{cerr}$ は燃料の過不足分の時間積分値に相当する値である。よって、内燃機関 1 0 の運転状態が定常運転状態から燃料の過不足分が発生し易い過渡運転状態に移行した後、再び定常運転状態に復帰する毎に、燃料の過不足分の時間積分値がゼロになることが保証されることにもなる。この結果、内燃機関 1 0 の運転状態が定常運転状態から一旦過渡運転状態に移行してから再び定常運転状態に復帰するまでの期間における平均的な空燃比 ((同期間内の総吸入空気量) / (同期間内の総燃料 (噴射) 量)) が前記目標空燃比 A_{byFref} と等しくなる。

【 0 1 6 4 】

次に、電気制御装置 70 の実際の作動について、図 11～図 18 に示したフローチャートを参照しながら説明する。

【0165】

(目標スロットル弁開度、及び推定スロットル弁開度の計算)

CPU71 は、図 11 にフローチャートにより示したルーチンを演算周期 ΔT_t (ここでは、8 msec) の経過毎に実行することにより、上記電子制御スロットル弁ロジック A1、及び電子制御スロットル弁モデル M1 の機能を達成する。具体的に述べると、CPU71 は所定のタイミングにてステップ 1100 から処理を開始し、ステップ 1105 に進んで変数 i に「0」を設定し、ステップ 1110 に進んで変数 i が遅延回数 $ntdly$ と等しいか否かを判定する。この遅延回数 $ntdly$ は、遅延時間 TD を演算周期 ΔT_t で除した値である。

【0166】

この時点で変数 i は「0」であるから、CPU71 はステップ 1110 にて「No」と判定し、ステップ 1115 に進んで暫定目標スロットル弁開度 $Tat(i)$ に暫定目標スロットル弁開度 $Tat(i+1)$ の値を格納するとともに、続くステップ 1120 にて予測スロットル弁開度 $TAest(i)$ に予測スロットル弁開度 $TAest(i+1)$ の値を格納する。以上の処理により、暫定目標スロットル弁開度 $Tat(0)$ に暫定目標スロットル弁開度 $Tat(1)$ の値が格納され、予測スロットル弁開度 $TAest(0)$ に予測スロットル弁開度 $TAest(1)$ の値が格納される。

【0167】

次いで、CPU71 は、ステップ 1125 にて変数 i の値を「1」だけ増大してステップ 1110 にもどる。そして変数 i の値が今回の遅延回数 $ntdly$ より小さければ、再びステップ 1115～1125 を実行する。即ち、ステップ 1115～1125 は、変数 i の値が遅延回数 $ntdly$ と等しくなるまで繰り返し実行される。これにより、暫定目標スロットル弁開度 $Tat(i+1)$ の値が暫定目標スロットル弁開度 $Tat(i)$ に順次シフトされ、予測スロットル弁開度 $TAest(i+1)$ の値が予測スロットル弁開度 $TAest(i)$ に順次シフトされて行く。

【0168】

前述のステップ 1125 が繰り返されることにより変数 i の値が遅延回数 $ntdly$

yと等しくなると、CPU 71はステップ1110にて「Yes」と判定してステップ1130に進み、同ステップ1130にて現時点の実際のアクセル操作量Accpと、図7に示したテーブルとに基づいて今回の暫定目標スロットル弁開度TAaccを求め、これを暫定目標スロットル弁開度Tat(ntdly)に格納する。

【0169】

次に、CPU 71はステップ1135に進み、同ステップ1135にて前回の予測（推定）スロットル弁開度TAest(ntdly)と、今回の暫定目標スロットル弁開度TAaccと、上記数2（の右辺）に基づくステップ1135内に記載した式とに応じて今回の予測スロットル弁開度TAest(ntdly)を算出する。そして、ステップ1140にて目標スロットル弁開度Tatに暫定目標スロットル弁開度Tat(0)の値を設定するとともに、予測スロットル弁開度TAestに最新の予測スロットル弁開度TAest(ntdly)を格納し、ステップ1195に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0170】

以上のように、目標スロットル弁開度Tatに関するメモリにおいては、本ルーチンが実行される毎にメモリの内容が一つずつシフトされて行き、暫定目標スロットル弁開度Tat(0)に格納された値が、電子制御スロットル弁ロジックA1によってスロットル弁アクチュエータ43aに出力される目標スロットル弁開度Tatとして設定される。即ち、今回の本ルーチンの実行により暫定目標スロットル弁開度Tat(ntdly)に格納された値は、今後において本ルーチンが遅延回数ntdlyだけ繰り返されたときにTat(0)に格納され、目標スロットル弁開度Tatとなる。また、予測スロットル弁開度TAestに関するメモリにおいては、同メモリ内のTAest(m)に現時点から所定時間($m \cdot \Delta T_t$)経過後の予測スロットル弁開度TAestが格納されて行く。この場合の値mは、1～ntdlyの整数である。

【0171】

（予測吸入空気量KLfwdの計算）

CPU 71は、所定の演算周期 ΔT_t （8 msec）の経過毎に図12に示した予測吸入空気量計算ルーチンを実行することで、第2吸入空気モデルA4（スロットルモデルM20、吸気弁モデルM30、吸気管モデルM40、及び吸気弁モデルM50）

の機能を達成するようになっている。具体的に説明すると、所定のタイミングになったとき、CPU 71はステップ1200から処理を開始し、ステップ1205に進んで上記スロットルモデルM20（上記数29に基づくステップ1205内に示した式）によりスロットル通過空気流量 $mt(k-1)$ を求めるため、図13のフローチャートに示したステップ1300に進む。なお、スロットル通過空気流量 mt の括弧内の変数が k ではなく $k-1$ となっているのは、このスロットル通過空気流量 $mt(k-1)$ が演算周期 ΔTt 前の各種値を用いて求められた値であることを意味していて、この変数 k 、 $k-1$ の意味は以下に述べる他の値についても同様である。

【0172】

ステップ1300に進んだCPU 71は、ステップ1305に進んで上記数30の係数 $c (=c(k-1))$ を、上記テーブルMAPCと、現時点より演算周期 ΔTt 前のエンジン回転速度NE、及び現時点より演算周期 ΔTt 前の吸気弁の開閉タイミングVTとから求める。また、同様に値 $d (=d(k-1))$ を、上記テーブルMAPDと、現時点より演算周期 ΔTt 前のエンジン回転速度NE、及び現時点より演算周期 ΔTt 前の吸気弁の開閉タイミングVTとから求める。

【0173】

次いで、CPU 71はステップ1310に進んで燃料噴射開始時期直前（BTDC 90° CA）から吸気弁閉弁時までの時間をエンジン回転速度NEから求め、この時間と略一致する遅延時間後の予測スロットル弁開度 $TAest$ をRAM 73から読み出し、それを予測スロットル弁開度 $TAest(k-1)$ とし、その予測スロットル弁開度 $TAest(k-1)$ 、現時点より演算周期 ΔTt 前のエンジン回転速度NE、及び現時点より演算周期 ΔTt 前の吸気弁の開閉タイミングVTと、上記テーブルMAPPMと、から吸気管圧力 $PmTA$ を求め、ステップ1315に進んで上記数30に基づき、スロットル通過空気流量 $mtsTA$ を求める。なお、ステップ1315において用いるスロットル通過空気温度 Ta は吸入空気温度センサが検出する吸入空気温度 THA を用い、吸気管内空気温度 $Tm(k-1)$ は、前回の本ルーチン実行時における後述するステップ1215にて求められた値を用いる。

【0174】

次いで、CPU 71はステップ1320に進み、同ステップ1320にて値 Φ

(P_{mTA}/Pa)を上記テーブルMAP Φ と上記ステップ1310にて求めた吸気管圧力 P_{mTA} をスロットル弁上流圧力(大気圧センサ63が検出する大気圧) Pa で除した値(P_{mTA}/Pa)とから求める。また、続くステップ1325にて、前回の本ルーチン実行時における後述するステップ1215にて求められた吸気管圧力 $P_{m(k-1)}$ をスロットル弁上流圧力 Pa で除した値($P_{m(k-1)}/Pa$)と、上記テーブルMAP Φ とから値 Φ (P_m/Pa)を求め、続くステップ1330にて上記ステップ1315, 1320、及びステップ1325にてそれぞれ求めた値と、スロットルモデルを表すステップ1330内に示した式とに基いてスロットル通過空気流量 $m_t(k-1)$ を求め、ステップ1395を経由して図12のステップ1210に進む。

【0175】

CPU71は、ステップ1210にて上記吸気弁モデルM3を表す数30を用いて筒内吸入空気流量 $m_c(k-1)$ を求める。このとき、係数 c 、及び値 d として、上記ステップ1305にて求めた値を使用する。また、吸気管圧力 $P_{m(k-1)}$ 、及び吸気管内空気温度 $T_{m(k-1)}$ は、前回の本ルーチン実行時における後述するステップ1215にて求められた値を用い、スロットル通過空気温度 T_a は吸入空気温度センサが検出する吸入空気温度 T_{HA} を用いる。

【0176】

次に、CPU71はステップ1215に進み、上記吸気管モデルM4を表す数31、及び数32を離散化したステップ1215に示した式(差分方程式)と、上記ステップ1205、及びステップ1210にてそれぞれ求めたスロットル通過空気流量 $m_t(k-1)$ 、及び $m_c(k-1)$ とに基いて、今回の吸気管圧力 $P_m(k)$ と、同吸気管圧力 $P_m(k)$ を今回の吸気管内空気温度 $T_m(k)$ にて除した値(P_m/T_m)(k)とを求める。なお、 Δt は吸気管モデルM40で使用される離散間隔を示し、計算時間を ΔT_t (=8 msec)、前回($k-1$)の燃料噴射開始時期から吸気弁閉弁時までの時間を t_0 、今回(k)の燃料噴射開始時期から吸気弁閉弁時までの時間を t_1 とすると、 $\Delta t = \Delta T_t + (t_1 - t_0)$ で表される時間である。

【0177】

次いで、CPU71はステップ1220に進み、同ステップ1220に示した上記吸気弁モデルM50を表す式に基いて今回の筒内吸入空気流量 $m_c(k)$ を求める

。具体的に述べると、CPU 7 1 はステップ 1 2 2 0 に進んだとき、図 1 4 に示したステップ 1 4 0 0 に進み、次のステップ 1 4 0 5 にて係数 $c(k)$ をエンジン回転速度 NE と吸気弁の開閉タイミング VT と $MAPC$ とにより求め ($c(k) = MAPC(NE, VT)$)、続くステップ 1 4 1 0 にて値 $d(k)$ をエンジン回転速度 NE と吸気弁の開閉タイミング VT と $MAPD$ とにより求める ($d(k) = MAPD(NE, VT)$)。このときのエンジン回転速度 NE 、及び吸気弁の開閉タイミング VT は、現時点での値を用いる。そして、CPU 7 1 は、ステップ 1 4 1 5 に進んで、上記ステップ 1 2 1 5 にて求められた今回の吸気管圧力 $P_m(k)$ 、及び同ステップ 1 2 1 5 にて求められた今回の吸気管内空気温度 $T_m(k)$ 、ステップ 1 4 0 5 にて求められた係数 $c(k)$ 、及びステップ 1 4 1 0 にて求められた値 $d(k)$ を用いて、今回の筒内吸入空気流量 $m_c(k)$ を算出し、ステップ 1 4 9 5 を経由して図 1 2 のステップ 1 2 2 5 に進む。

【 0 1 7 8 】

CPU 7 1 はステップ 1 2 2 5 にて、現時点でのエンジン回転速度 NE と、インテークカムシャフトのカムプロファイルで決定されている吸気弁開弁角とから吸気弁開弁時間（吸気弁が開弁してから閉弁するまでの時間） T_{int} を計算し、続くステップ 1 2 3 0 にて上記今回の筒内吸入空気流量 $m_c(k)$ に吸気弁開弁時間 T_{int} を乗じて予測吸入空気量 KL_{fwd} を算出し、ステップ 1 2 9 5 に進んで本ルーチンを一旦終了する。以上により、予測吸入空気量 KL_{fwd} が求められる。

【 0 1 7 9 】

（実吸入空気量 KL_{act} ）

CPU 7 1 は、所定の演算周期 ΔT_t （8 msec）の経過毎に図 1 5 に示した実吸入空気量計算ルーチンを実行することで、第 1 吸入空気モデル A 3（スロットルモデル M 2、吸気弁モデル M 3、吸気管モデル M 4、及び吸気弁モデル M 5）の機能を達成するようになっている。このルーチンは、先に説明した図 1 2 の予測吸入空気量計算ルーチンと同様な処理を行って、実吸入空気量 KL_{act} を求める。その際、CPU 7 1 は、図 1 3、及び図 1 4 に示したルーチンとそれぞれ同様な処理を行うための図 1 6、及び図 1 7 に示したルーチンを実行する。なお、スロットル通過空気流量等の各量を図 1 2 ～図 1 4 の各量と区別するため、同各量の名称末尾に文字「a」を追加している。

【 0 1 8 0 】

図 1 5 ～ 図 1 7 に示したルーチンと、図 1 2 ～ 図 1 4 に示したルーチンとの主たる相違点を簡単に説明すると、CPU 7 1 はステップ 1 5 0 5 にて上記スロットルモデル M 2 （上記数 2 9 に基づくステップ 1 5 0 5 内に示した式）によりスロットル通過空気流量 $mta(k-1)$ を求める。

【 0 1 8 1 】

このとき、CPU 7 1 は図 1 6 に示したルーチンを実行し、ステップ 1 6 0 5 にて上記数 3 0 の係数 $c (=ca(k-1))$ を、上記テーブル MAPC と、現時点より演算周期 ΔTt 前のエンジン回転速度 NE 、及び現時点より演算周期 ΔTt 前の吸気弁の開閉タイミング VT とから求める。また、同様に値 $d (=da(k-1))$ を、上記テーブル MAPD と、現時点より演算周期 ΔTt 前のエンジン回転速度 NE 、及び現時点より演算周期 ΔTt 前の吸気弁の開閉タイミング VT とから求める。

【 0 1 8 2 】

次いで、CPU 7 1 はステップ 1 6 1 0 に進んで吸気管圧力 $PmTAa$ を上記テーブル MAPPM と、現時点から演算周期 ΔTt 前に検出された実スロットル弁開度 $TAact(k-1)$ 、現時点より演算周期 ΔTt 前のエンジン回転速度 NE 、及び現時点より演算周期 ΔTt 前の吸気弁の開閉タイミング VT とから求め、ステップ 1 6 1 5 に進んで上記数 3 0 に基き、スロットル通過空気流量 $mtsTAa$ を求める。なお、ステップ 1 6 1 5 において用いるスロットル通過空気温度 Ta は吸入空気温度センサが検出する吸入空気温度 THA を用い、吸気管内空気温度 $Tma(k-1)$ は、前回の本ルーチン実行時における後述するステップ 1 5 1 5 にて求められた値を用いる。

【 0 1 8 3 】

次いで、CPU 7 1 はステップ 1 6 2 0 に進み、同ステップ 1 6 2 0 にて値 Φ ($PmTAa/Pa$) を上記吸気管圧力 $PmTAa$ をスロットル弁上流圧力 Pa で除した値 ($PmTAa/Pa$) と上記 MAP Φ とから求める。また、続くステップ 1 6 2 5 にて、前回の本ルーチン実行時における後述するステップ 1 5 1 5 にて求められた吸気管圧力 $Pma(k-1)$ をスロットル弁上流圧力 Pa で除した値 ($Pma(k-1)/Pa$) と、上記テーブル MAP Φ とから値 Φ (Pma/Pa) を求め、続くステップ 1 6 3 0 にて上記ステップ 1 6 1 5、1 6 2 0、及びステップ 1 6 2 5 にてそれぞれ求めた値と、スロットルモデル

を表すステップ1630内に示した式とに基づいてスロットル通過空気流量 $m_{ta}(k-1)$ を求め、ステップ1695を経由して図15のステップ1510に進む。

【0184】

CPU71は、ステップ1510にて上記吸気弁モデルM30を表す数30を用いて筒内吸入空気流量 $m_{ca}(k-1)$ を求める。このとき、係数 ca 、及び値 da として、上記ステップ1605にて求めた値を使用する。また、吸気管圧力 $P_{ma}(k-1)$ 、及び吸気管内空気温度 $T_{ma}(k-1)$ は前回の本ルーチン実行時における後述するステップ1515にて求められた値を用い、スロットル通過空気温度 T_a は吸入空気温度センサが検出する吸入空気温度 T_{HA} を用いる。

【0185】

次に、CPU71はステップ1515に進み、スロットル通過空気流量 $m_{ta}(k-1)$ 、及び筒内吸入空気流量 $m_{ca}(k-1)$ とに基づいて、今回の吸気管圧力 $P_{ma}(k)$ と、同吸気管圧力 $P_{ma}(k)$ を今回の吸気管内空気温度 $T_{ma}(k)$ にて除した値 $\{P_{ma}/T_{ma}\}(k)$ とを求める。次いで、CPU71はステップ1520に進み、同ステップ1520に示した上記吸気弁モデルM50を表す式に基づいて今回の筒内吸入空気流量 $m_{ca}(k)$ を求める。この場合、CPU71は、図17に示したステップ1705にて係数 $ca(k)$ をエンジン回転速度 NE と吸気弁の開閉タイミング VT とMAPCとにより求め $(ca(k)=MAPC(NE,VT))$ 、続くステップ1710にて値 $da(k)$ をエンジン回転速度 NE と吸気弁の開閉タイミング VT とMAPDとにより求める $(da(k)=MAPD(NE,VT))$ 。ここで使用するエンジン回転速度 NE 、及び吸気弁の開閉タイミング VT は、現時点での値を用いる。そして、CPU71は、ステップ1715に進んで、今回の吸気管圧力 $P_{ma}(k)$ 、今回の吸気管内空気温度 $T_{ma}(k)$ 、係数 $ca(k)$ 、及び値 $da(k)$ を用いて、今回の筒内吸入空気流量 $m_{ca}(k)$ を算出し、ステップ1795を経由して図15のステップ1525に進む。

【0186】

CPU71はステップ1525にて、現時点でのエンジン回転速度 NE と、インテークカムシャフトのカムプロファイルで決定されている吸気弁開弁角とから吸気弁開弁時間 T_{int} を計算し、続くステップ1530にて上記今回の筒内吸入空気流量 $m_{ca}(k)$ に吸気弁開弁時間 T_{int} を乗じて実吸入空気量 KL_{act} を算出する。次い

で、CPU 7 1 はステップ 1 5 3 5 に進み、現時点が吸気弁が開弁状態から閉弁状態に変化した直後であるか否かを判定し、直後であればステップ 1 5 4 0 にて実吸入空気量 $KLact$ を吸気弁閉弁時の実吸入空気量 $KLact0$ として格納し、ステップ 1 5 9 5 に進んで本ルーチンを一旦終了する。また、CPU 7 1 は、ステップ 1 5 3 5 にて「No」と判定されるとき、直接ステップ 1 5 9 5 に進んで本ルーチンを一旦終了する。以上により、実スロットル弁開度 $TAact$ に基いて吸気弁閉弁時の実吸入空気量 $KLact0$ が求められる。なお、実吸入空気量 $KLact0$ は、各気筒毎に求められ、各気筒に対応付けられた状態で RAM 7 3 に格納される。

【 0 1 8 7 】

(噴射実行ルーチン)

次に、電気制御装置 7 0 が、実際に噴射を行うために実行するルーチンについて、同ルーチンをフローチャートにより示した図 1 8 を参照して説明すると、CPU 7 1 は各気筒のクランク角度が BTDC 9 0° CA になる毎に、各気筒毎に同図 1 8 に示したルーチンを実行するようになっている。

【 0 1 8 8 】

従って、特定の(任意の)気筒のクランク角度が BTDC 9 0° CA になると、CPU 7 1 はステップ 1 8 0 0 から処理を開始し、続くステップ 1 8 0 5 にて予測吸入空気量 $KLfwd$ を目標空燃比 $AbyFref$ で除することにより ($Fcfwdb = KLfwd / AbyFref$) 補正前予測必要燃料量 $Fcfwdb(k)$ を求める。

【 0 1 8 9 】

次に、CPU 7 1 は、ステップ 1 8 1 0 にて、同ステップ 1 8 1 0 にて前記特定気筒の前の吸気行程における吸気弁閉弁時の実吸入空気量 $KLact0$ を RAM 7 3 から読み出し、同実吸入空気量 $KLact0$ を目標空燃比設定手段 A 5 により求められた目標空燃比 $AbyFref$ で除する ($KLact0 / AbyFref$) ことにより、同特定気筒の前の吸気行程において空燃比を目標空燃比 $AbyFref$ とするために必要であった燃料量である実必要燃料量 $Fcact$ を求める。

【 0 1 9 0 】

次いで、CPU 7 1 はステップ 1 8 1 5 に進み、前記特定気筒の前の吸気行程における吸気弁閉弁時の実スロットル弁開度 $TAact$ 、同吸気弁閉弁時の実際の

エンジン回転速度 NE 、及び同吸気弁閉弁時の実際の吸気弁 3 2 の開閉タイミング VT とに基いて吸気ポートへの燃料付着率 R_p 、吸気弁への燃料付着率 R_v 、吸気ポートへの燃料残留率 P_p 、及び吸気弁への燃料残留率 P_v を求めるとともに、前回の吸気行程（特定の気筒の任意の吸気行程）に対し実際に噴射された燃料噴射量 $f_i(k-1)$ 、同気筒の前々回の吸気行程（同任意の吸気行程の一回前の吸気行程）後であって前回の吸気行程前（同任意の吸気行程前）における実際のポート燃料付着量（実ポート燃料付着量） $f_{wp}(k-1)$ 、実際のバルブ燃料付着量（実バルブ燃料付着量） $f_{wv}(k-1)$ 、及び、上記数 5（の右辺）に相当する同ステップ中に記載した式に基いて同気筒の前回の吸気行程における実吸入燃料量 F_{cest} を算出する。

【 0 1 9 1 】

次に、CPU 7 1 はステップ 1 8 2 0 に進み、同ステップ中に記載した上記数 3、及び上記数 4 に相当する式に従って、ステップ 1 8 1 5 にて使用した燃料噴射量 $f_i(k-1)$ 、実ポート燃料付着量 $f_{wp}(k-1)$ 、実バルブ燃料付着量 $f_{wv}(k-1)$ 、並びに、燃料付着率 R_p 、吸気弁への燃料付着率 R_v 、吸気ポートへの燃料残留率 P_p 、及び吸気弁への燃料残留率 P_v に基いて、前記特定気筒の前回の吸気行程（同任意の吸気行程）後であって今回の吸気行程（同任意の吸気行程の次の（一回後の）吸気行程）前における実ポート燃料付着量 $f_{wp}(k)$ 、及び実バルブ燃料付着量 $f_{wv}(k)$ を算出する。

【 0 1 9 2 】

次いで、CPU 7 1 はステップ 1 8 2 5 に進んで、ステップ 1 8 1 0 にて算出した前回の吸気行程に対する実必要燃料量 F_{cact} からステップ 1 8 1 5 にて算出した実吸入燃料量 F_{cest} を減ずることにより、前回の吸気行程における燃料量の過不足分を表す吸入燃料量誤差 $F_{cerr}(k)$ を求め（上記数 6 を参照。）、続くステップ 1 8 3 0 にて同ステップ内に記載した式に基いて燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ を求める（上記数 7 を参照）。なお、同ステップ内に記載した式において、 $\text{Sum}F_{cerr}$ は上記数 8 に基いて求められる吸入燃料量誤差 F_{cerr} の積分値であり、後述するステップ 1 8 5 0 にて算出される。係数 K_p 、及び係数 K_i は、それぞれ予め設定されている比例定数、及び積分定数である。即ち、ステップ 1 8 5 0 は燃料フィードバック補正量 F_{fb} を求めるためのフィードバックコントローラ（比

例・積分制御器)の一部を構成している。

【0193】

次に、CPU71はステップ1835に進み、今回の吸気行程に対する正規の予測必要燃料量(正規予測必要燃料量) $F_{cfwd}(k)$ を、前記ステップ1805にて求めた補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ をステップ1830にて求めた燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ で補正して(補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ に燃料フィードバック補正量 $F_{fb}(k)$ を加えて)求める。

【0194】

次いで、CPU71はステップ1840に進み、前記特定気筒の今回の吸気行程における吸気弁閉弁時の予測スロットル弁開度 TA_{est} 、実際のエンジン回転速度 NE 、及び実際の吸気弁の開閉タイミング VT とに基いて吸気ポートへの燃料付着率 R_{pf} 、吸気弁への燃料付着率 R_{vf} 、吸気ポートへの燃料残留率 P_{pf} 、及び吸気弁への燃料残留率 P_{vf} を求めるとともに、ステップ1820にて算出した同特定気筒の前回の吸気行程後であって今回の吸気行程前における実ポート燃料付着量 $f_{wp}(k)$ 及び実バルブ燃料付着量 $f_{wv}(k)$ と、上記数11の右辺(ステップ1840中に記載した式)で表される燃料挙動の逆モデルとにしたがって燃料噴射量 $f_i(k)$ を求める。

【0195】

次に、CPU71はステップ1845に進んで、前記特定気筒のインジェクタ39に対して前記燃料噴射量 $f_i(k)$ の燃料の噴射を指示する。これにより、燃料噴射量 $f_i(k)$ に応じた量の燃料が前記特定気筒のインジェクタ39から噴射される。その後、CPU71はステップ1850に進み、次回の本ルーチンの演算のために吸入燃料量誤差 F_{cerr} を積分して誤差積分値 $SumF_{cerr}$ を更新し、ステップ1895にて本ルーチンを一旦終了する。

【0196】

以上、説明したように、本発明による内燃機関の燃料噴射量制御装置の上記実施形態によれば、前回の吸気行程に対する実必要燃料量と実吸入燃料量とが求められ、これらの差に基いて同前回の吸気行程に対する燃料量の過不足が算出され、同過不足分が今回以降の予測必要燃料量に反映されて補償されて行く。この結

果、運転状態量予測手段による予測運転状態量（予測スロットル弁開度、従って、予測吸入空気量）が実際のスロットル弁開度（従って、実際の吸入空気量）と異なることに基く供給燃料量の過不足が直ちに補償されるので、空燃比を略一定に維持することができた。

【 0 1 9 7 】

また、上記実施形態によれば、燃料フィードバック補正量で補正された後の正規予測必要燃料量に基いて燃料噴射量が算出される。従って、内燃機関の運転状態に拘わらず、前記燃料フィードバック補正量が確実に反映された所望の前記正規予測必要燃料量の燃料が正確に燃料噴射気筒内に吸入され得る。この結果、前記燃料フィードバック補正量を算出するためのフィードバックコントローラ（P I コントローラ）が使用する比例ゲイン等のフィードバック制御定数を時々刻々と変化する内燃機関の運転状態に応じて変更する必要がないので、フィードバックコントローラを簡易な構成とすることができた。

【 0 1 9 8 】

また、上記実施形態によれば、内燃機関の運転状態が定常運転状態にあるとき、予測吸入空気量と実吸入空気量とが等しくなる。従って、内燃機関の運転状態が所定時間以上定常運転状態に維持される毎に、P I コントローラが使用する吸入燃料量誤差の時間積分値がゼロになることが保証される。そうすると、吸入燃料量誤差の時間積分値は燃料の過不足分の時間積分値に相当する値であるから、内燃機関の運転状態が定常運転状態から燃料の過不足分が発生し易い過渡運転状態に移行した後、再び定常運転状態に復帰する毎に、燃料の過不足分の時間積分値がゼロになることが保証され、この結果、内燃機関の運転状態が定常運転状態から一旦過渡運転状態に移行してから再び定常運転状態に復帰するまでの期間における平均的な空燃比を所定の目標空燃比と等しくすることができる。よって、三元触媒の酸素吸蔵量が適切な量に維持され得、その結果、同三元触媒の酸素吸蔵・放出機能が低下しないことから、排気ガスのエミッションの排出量が増大することを防止できた。

【 0 1 9 9 】

本発明は上記実施形態に限定されることはなく、本発明の範囲内において種々

の変形例を採用することができる。例えば、上記実施形態において、内燃機関が定常運転状態にあるとき、今回の吸気行程における吸入空気量がエアフローメータ 6 1 の出力に実質的に基いて決定されるように構成されることが好適である。

【 0 2 0 0 】

また、上記実施形態においては、内燃機関の各気筒の吸気行程毎に、且つ、各気筒毎（特定気筒毎）に、図 5 及び図 6 に示した各モデル、及び各手段により燃料噴射量が計算されているが、内燃機関の各気筒の吸気行程毎に、気筒の区別をすることなく順次移動していく不特定の燃料噴射気筒に対して、図 5 及び図 6 に示した各モデル、及び各手段により燃料噴射量を計算していくように構成してもよい。

【 0 2 0 1 】

また、上記実施形態においては、燃料噴射量算出手段（燃料挙動モデルの逆モデル）は、実燃料付着量算出手段（燃料挙動モデルの順モデル）により算出された前回の吸気行程後であって今回の吸気行程前における実燃料付着量に基いて燃料付着量を算出しているが、燃料噴射量算出手段は、前記実燃料付着量算出手段とは別に予測燃料付着量算出手段を備え、同予測燃料付着量算出手段により算出された前回の吸気行程後であって今回の吸気行程前における予測燃料付着量に基いて燃料付着量を算出するように構成されてもよい。

【 0 2 0 2 】

即ち、燃料噴射量算出手段は、前記燃料挙動モデルの逆モデルに基いて、今回の吸気行程に対し噴射されるべき燃料噴射量の燃料のうち同今回の吸気行程において吸入される燃料量と予測燃料付着量算出手段により算出された前回の吸気行程後であって同今回の吸気行程前における予測燃料付着量の燃料のうち同今回の吸気行程において吸入される燃料量との和が前記算出された正規予測必要燃料量と等しくなるように同燃料噴射量を算出するように構成されてもよい。この場合、予測燃料付着量算出手段は、前記燃料挙動モデルにて使用する付着率と残留率を前回の吸気行程に対する予測吸入空気量（即ち、前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時より前の時点で同前回の吸気行程に対する吸気弁閉弁時の吸入空気量として前記予測吸入空気量算出手段が算出した吸入空気量）に基いて決定し、同決

定した付着率と残留率を使用した同燃料挙動モデルと、前々回の吸気行程後であって同前回の吸気行程前における予測燃料付着量と、同前回の吸気行程に対する実際の燃料噴射量とに基いて、同前回の吸気行程後であって今回の吸気行程前における前記予測燃料付着量を算出するように構成すればよい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明による燃料噴射量制御装置（燃料噴射量制御装置）を火花点火式多気筒内燃機関に適用したシステムの概略構成図である。

【図 2】 図 1 に示したエアフローメータの概略斜視図である。

【図 3】 図 2 に示したエアフローメータの熱線計量部の拡大斜視図である。

【図 4】 図 1 に示した CPU が参照するエアフローメータの出力と吸入空気量（吸入空気流量）との関係を規定したテーブルを表した図である。

【図 5】 スロットル弁開度を制御するとともに燃料噴射量を決定するための各種ロジック、及び各種モデルの機能ブロック図である。

【図 6】 図 5 に示した噴射量決定手段の詳細を示した機能ブロック図である。

【図 7】 図 1 に示した CPU が参照するアクセルペダル操作量と暫定目標スロットル弁開度との関係を規定したテーブルを示した図である。

【図 8】 暫定目標スロットル弁開度、目標スロットル弁開度、及び予測スロットル弁開度の変化を示したタイムチャートである。

【図 9】 予測スロットル弁開度を算出する際に用いる関数を示したグラフである。

【図 10】 図 6 に示した噴射量決定手段が備える各機能ブロックによる計算タイミングを示した図である。

【図 11】 図 1 に示した CPU が実行する目標スロットル弁開度、及び予測スロットル弁開度を演算するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図 12】 図 1 に示した CPU が実行する予測吸入空気量を算出するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図 13】 図 1 に示した CPU が実行する予測スロットル通過空気流量を算出するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図 14】 図 1 に示した CPU が実行する予測筒内吸入空気流量を算出するた

めのプログラムを示したフローチャートである。

【図 1 5】 図 1 に示した CPU が実行する実吸入空気量を算出するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図 1 6】 図 1 に示した CPU が実行する実スロットル通過空気流量を算出するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図 1 7】 図 1 に示した CPU が実行する実筒内吸入空気流量を算出するためのプログラムを示したフローチャートである。

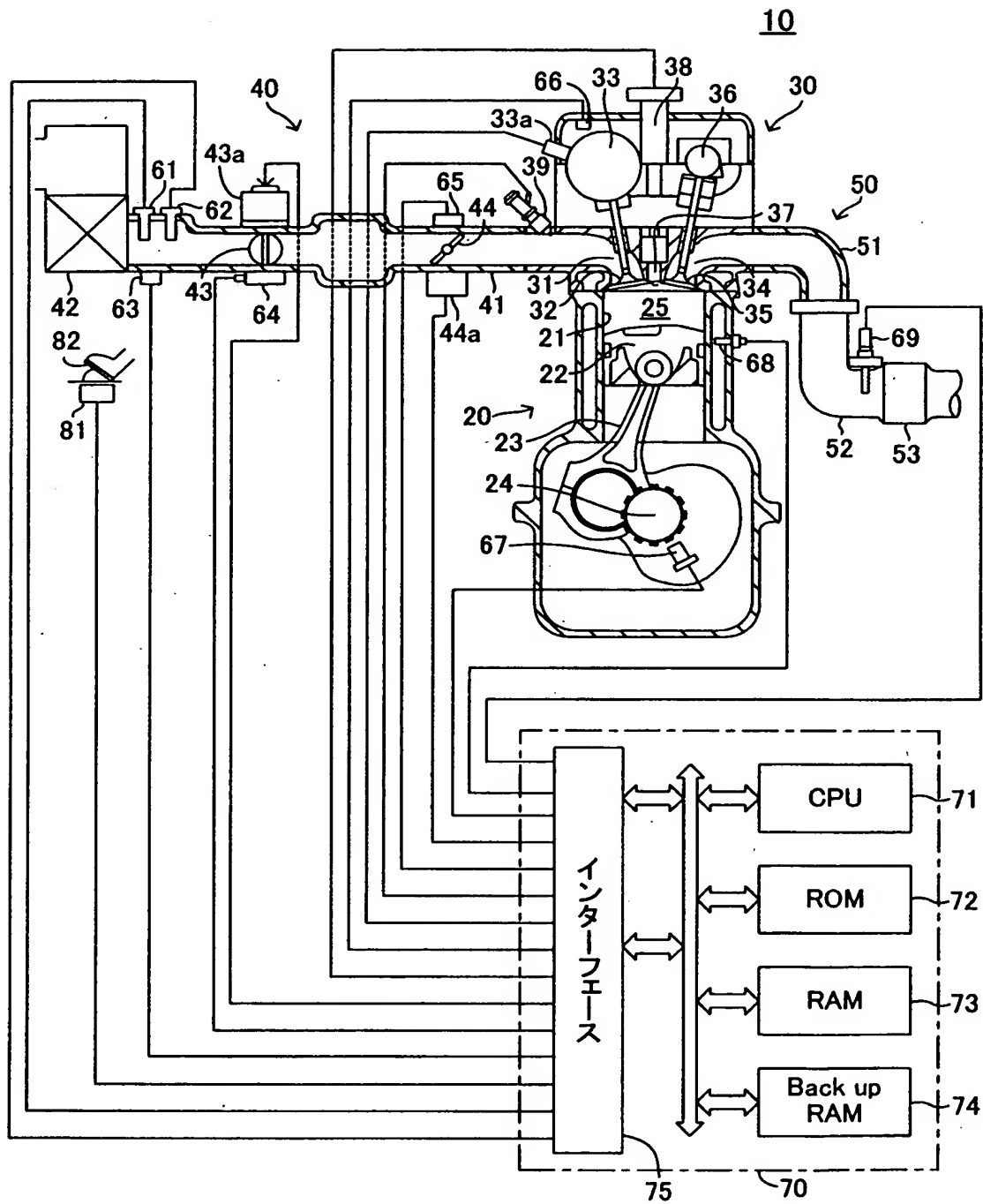
【図 1 8】 図 1 に示した CPU が実行する燃料噴射実行（燃料噴射量計算）のためのプログラムを示したフローチャートである。

【符号の説明】

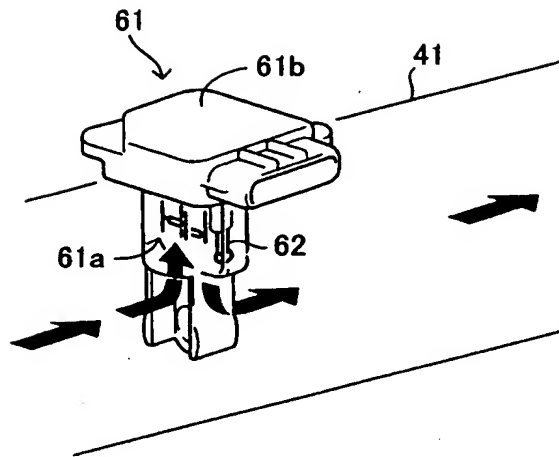
1 0 …火花点火式多気筒内燃機関、2 0 …シリンダブロック部（エンジン本体部）、2 5 …燃焼室、3 1 …吸気ポート、3 2 …吸気弁、3 9 …インジェクタ、4 1 …吸気管、4 3 …スロットル弁、4 3 a …スロットル弁アクチュエータ、7 0 …電気制御装置、7 1 …CPU

【書類名】 図面

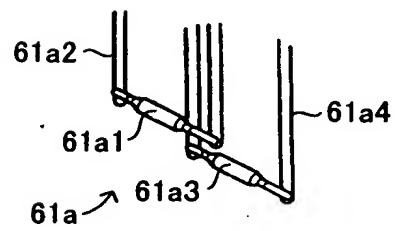
【図 1】



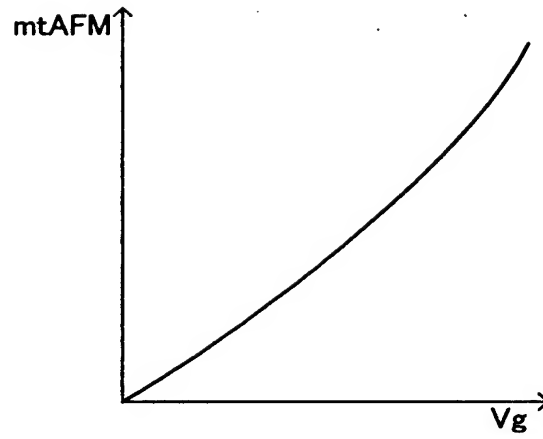
【図 2】



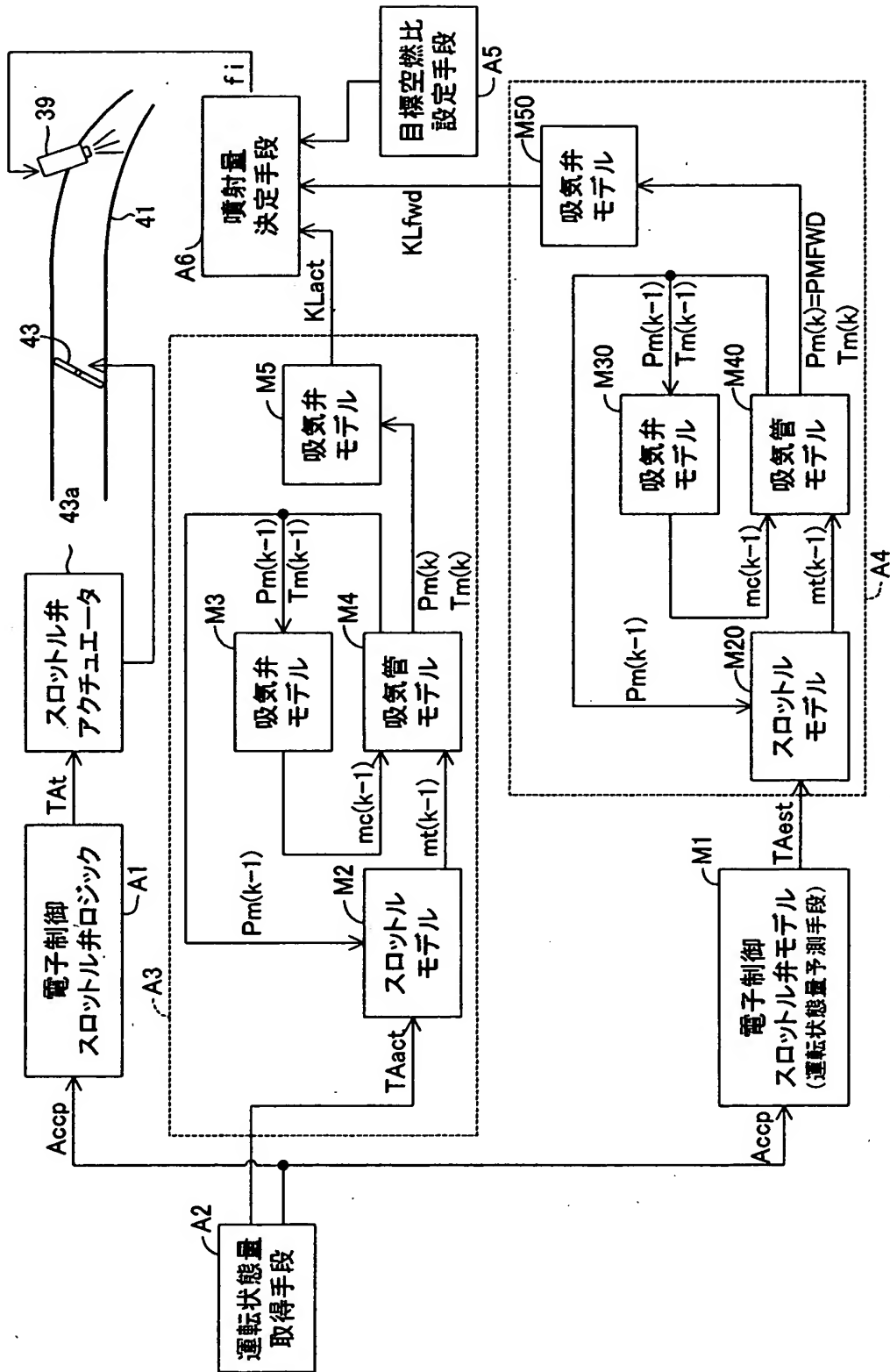
【図 3】



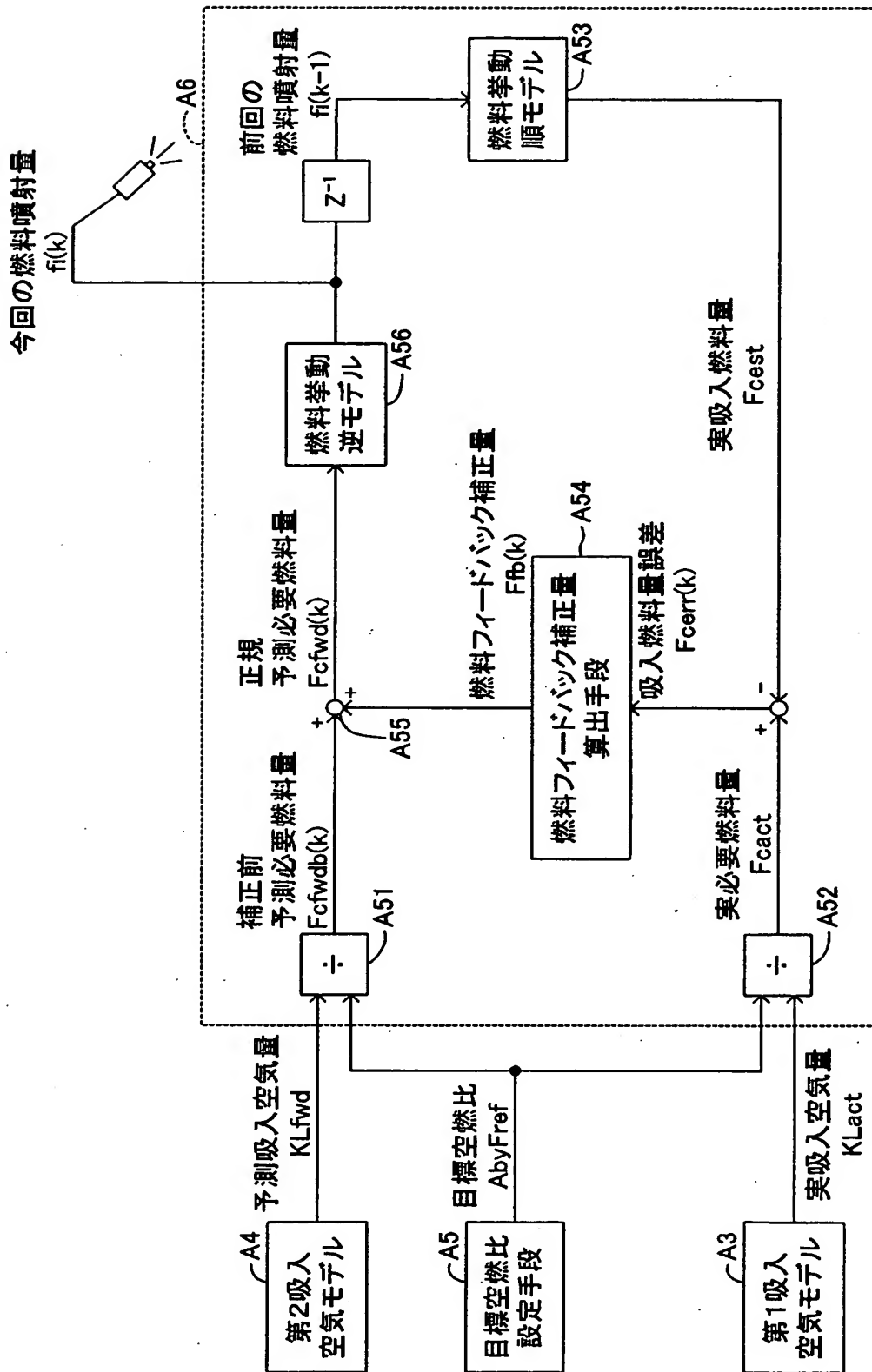
【図 4】



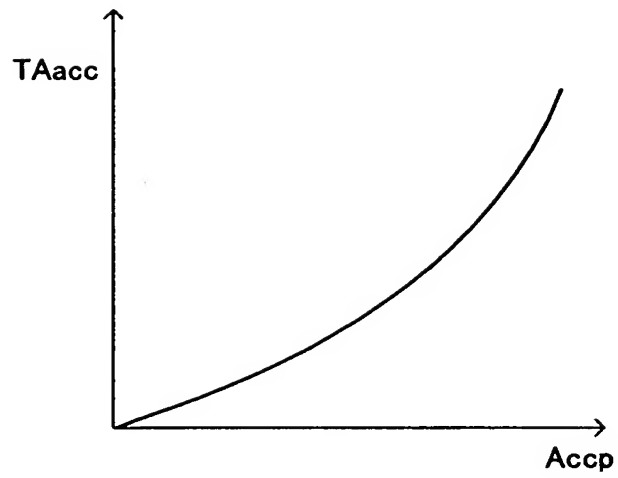
【図 5】



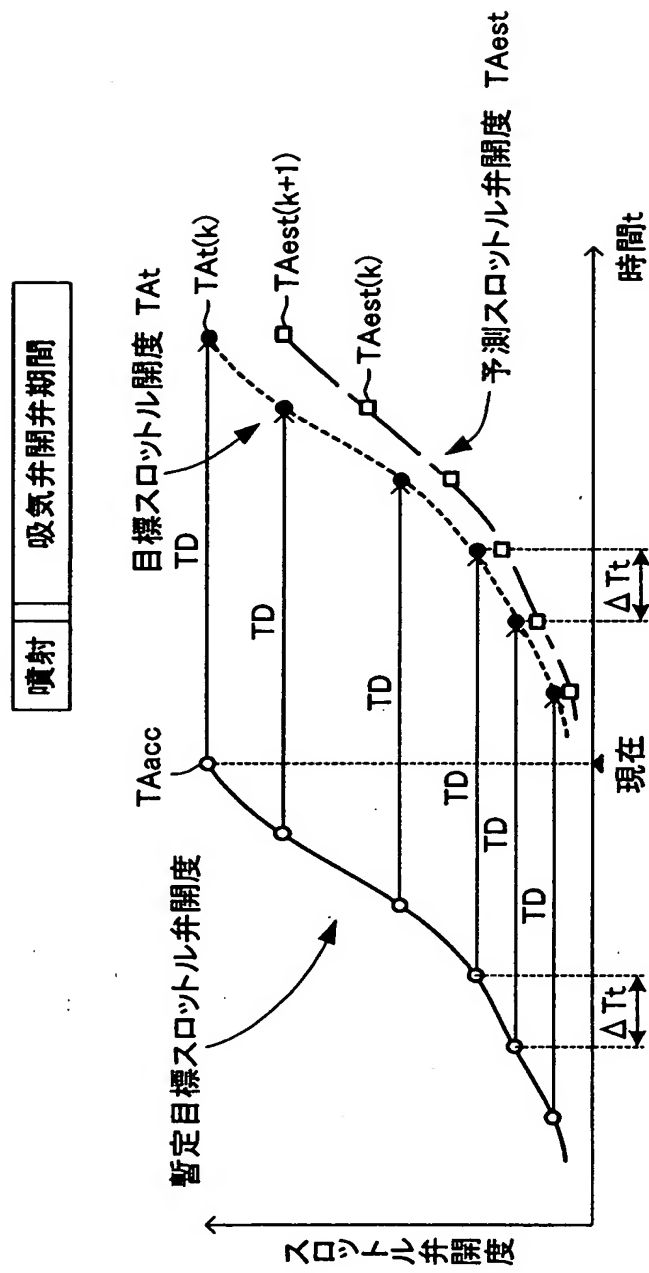
【図 6】



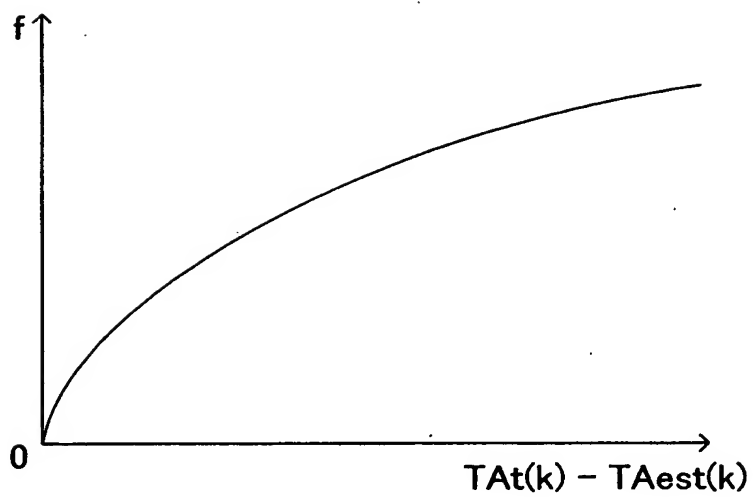
【図 7】



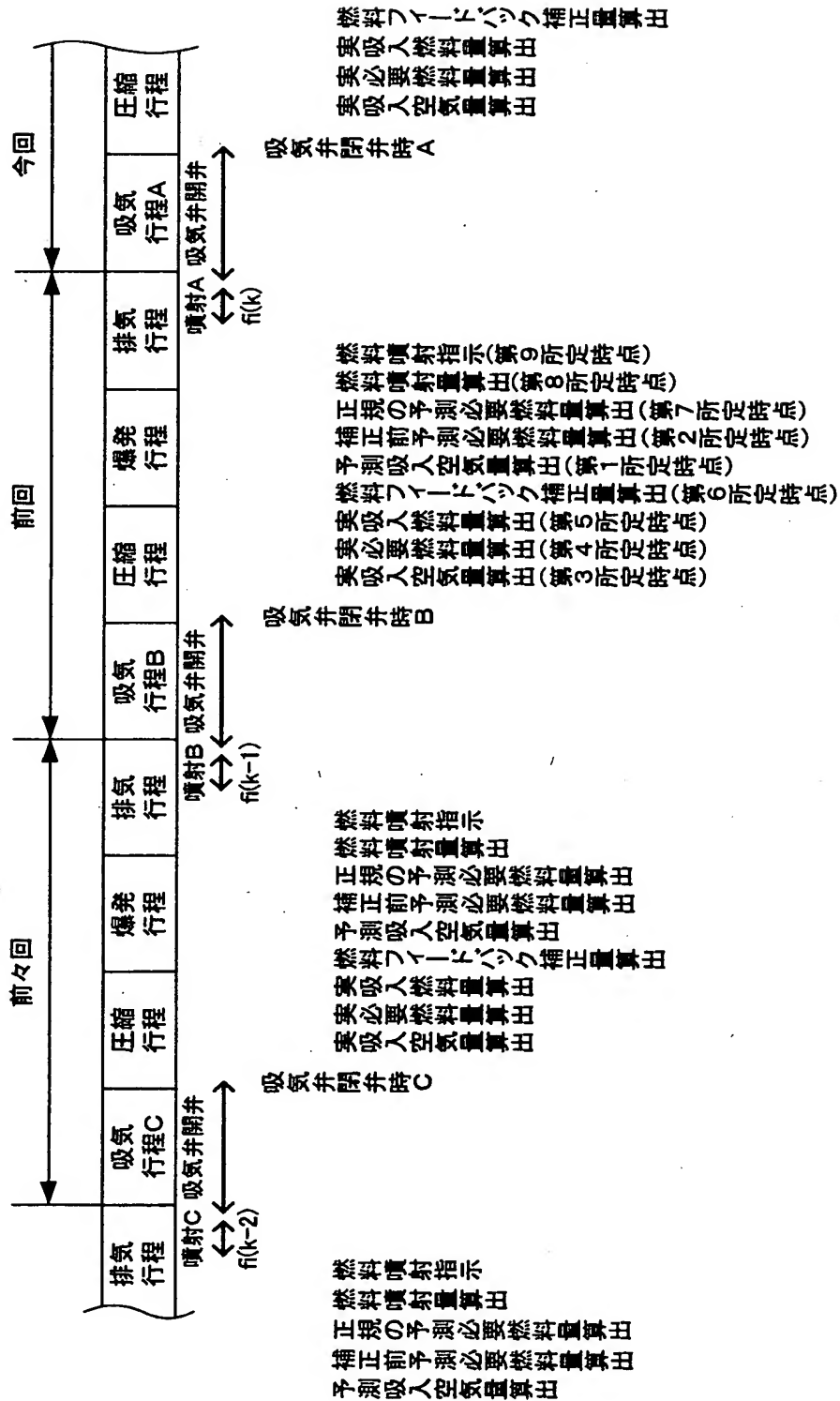
【図 8】



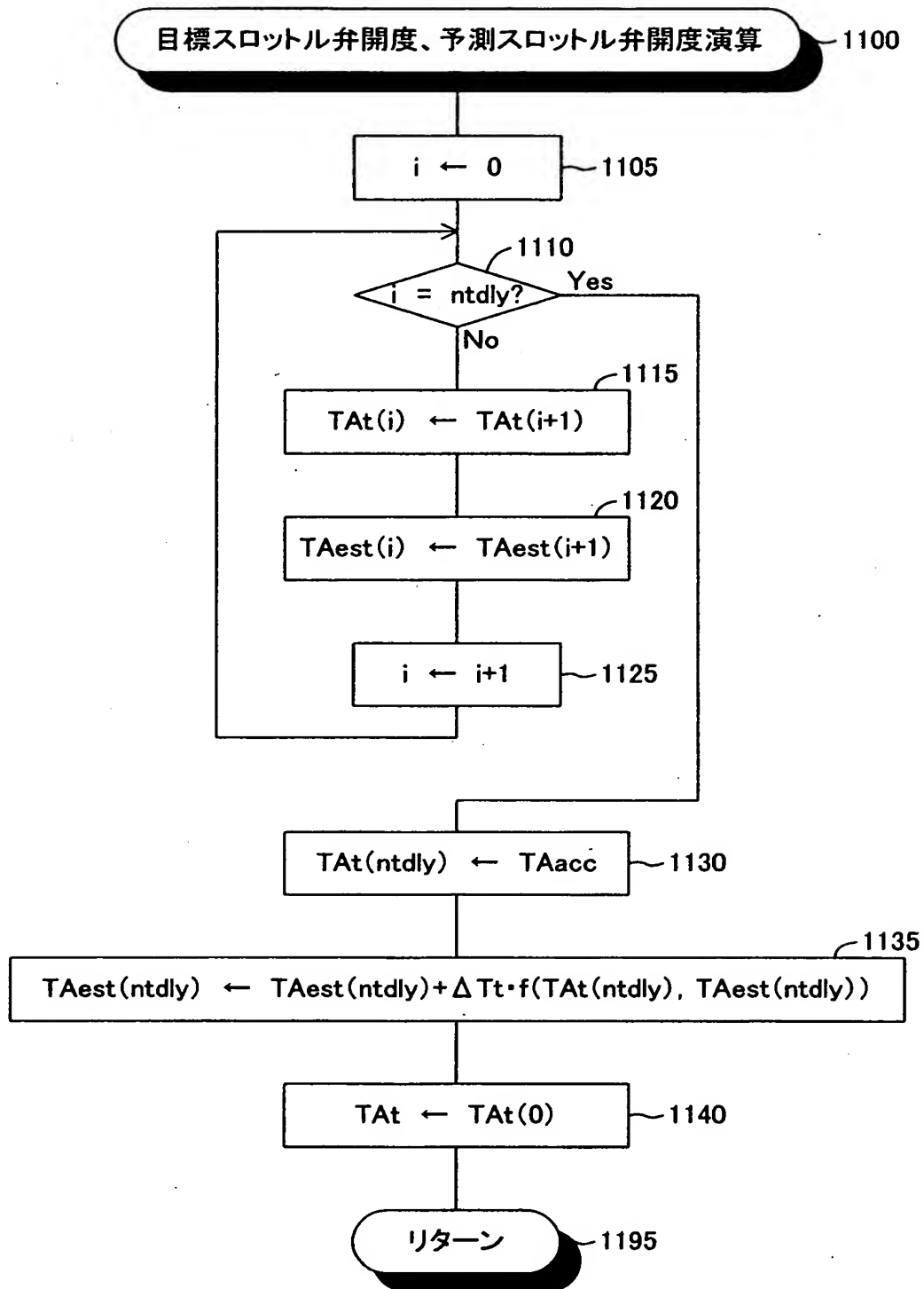
【図 9】



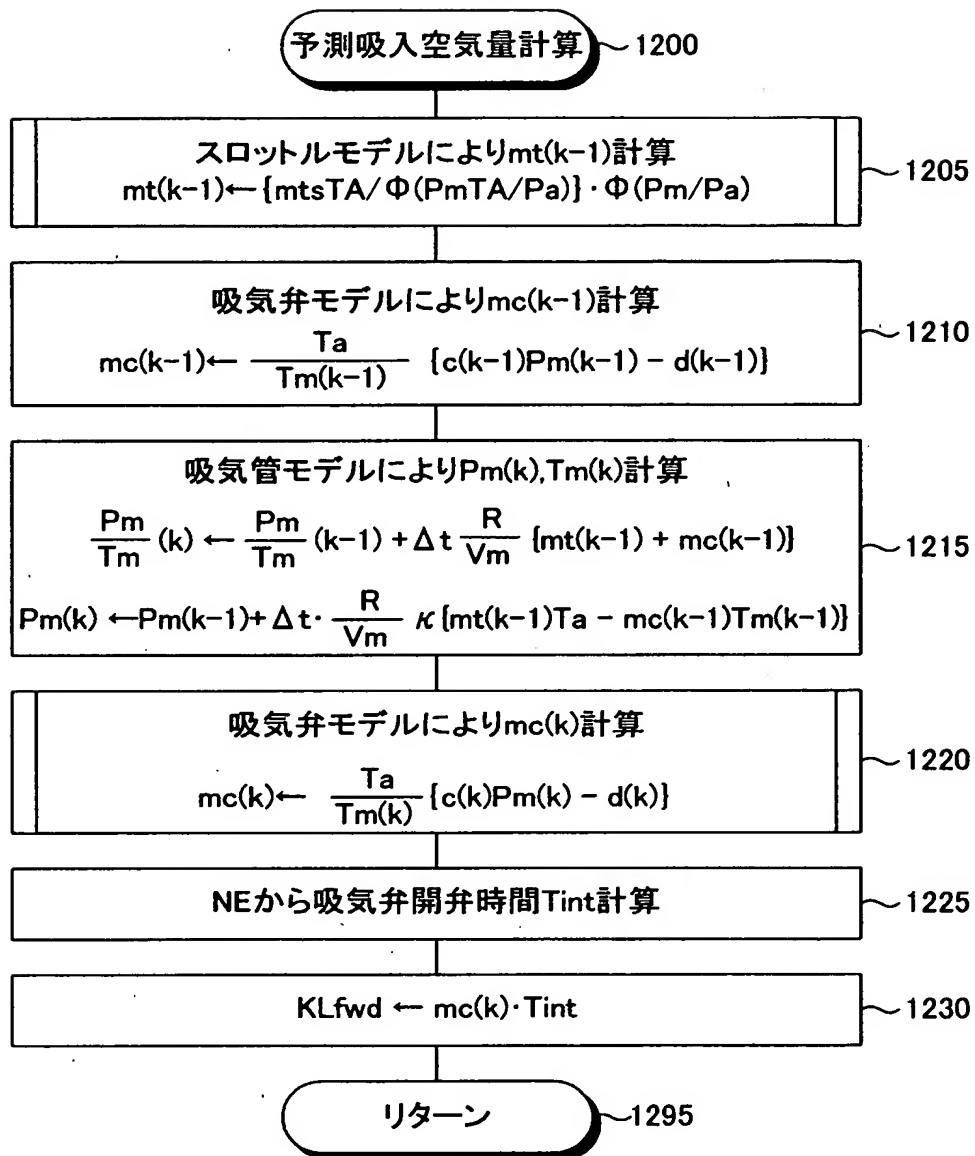
【図 1 0】



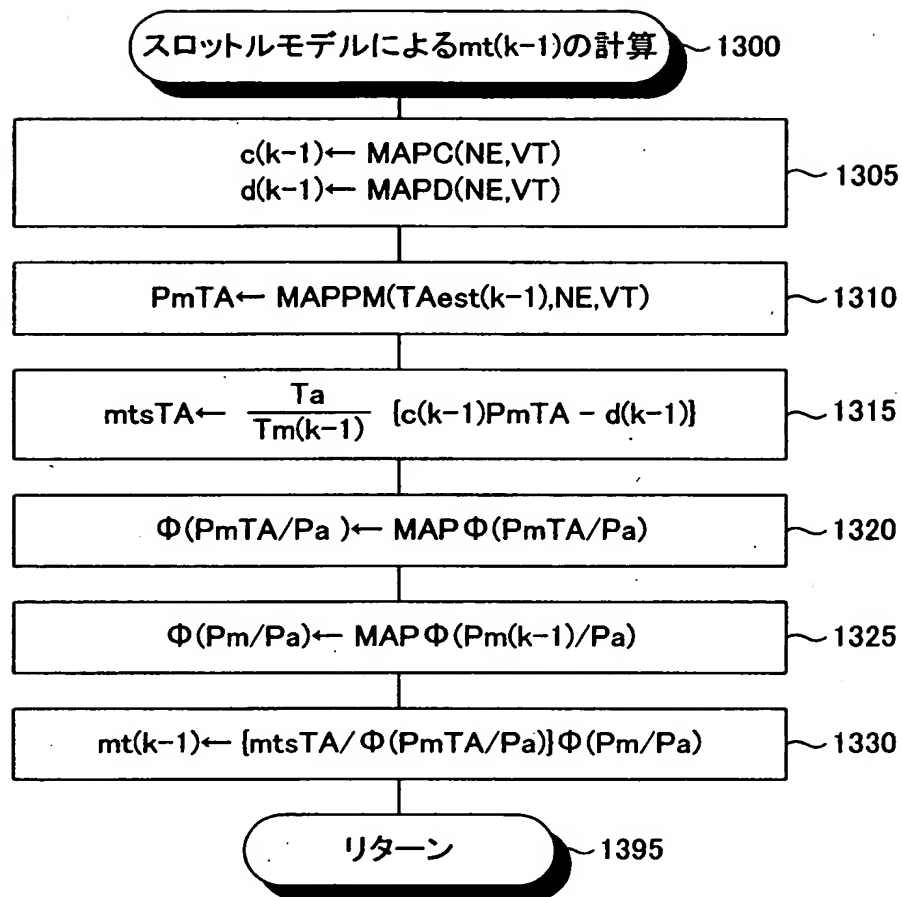
【図 1 1】



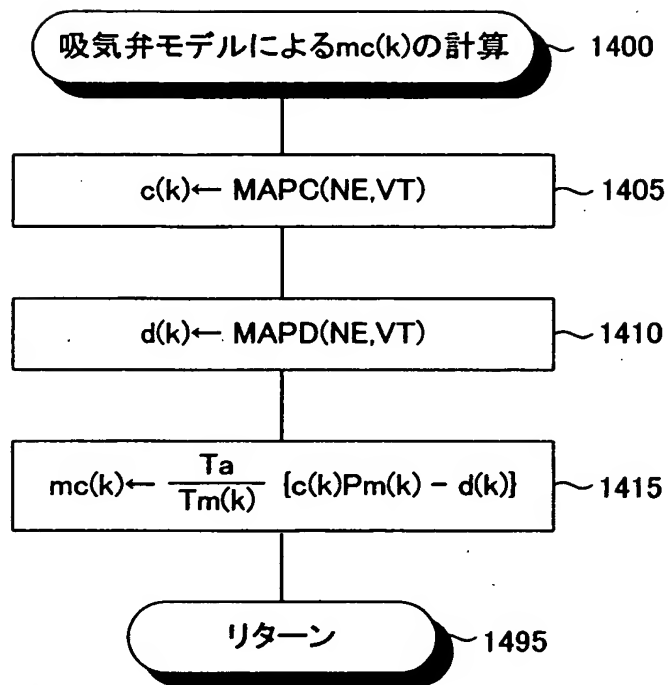
【図 1 2】



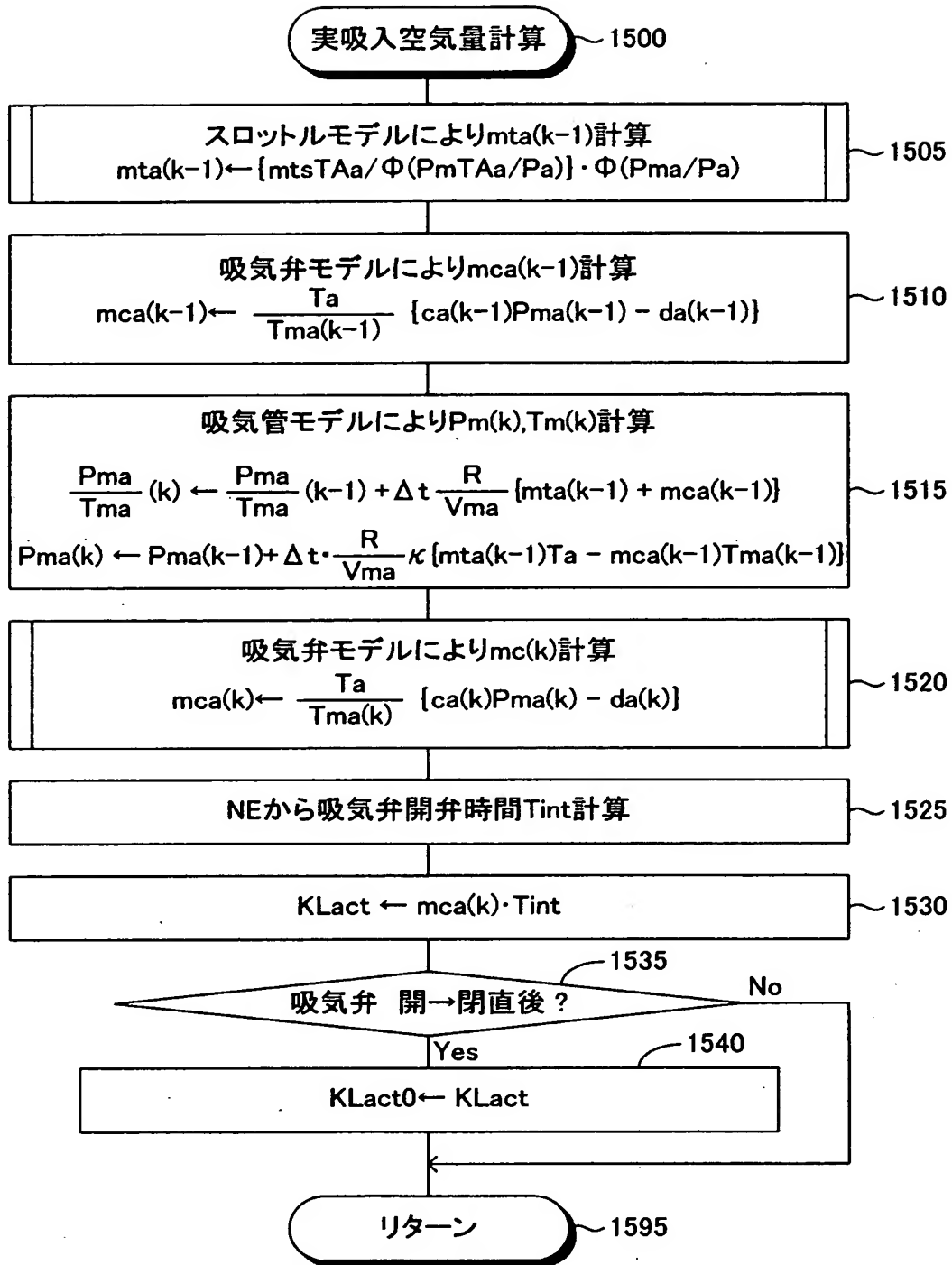
【図 1 3】



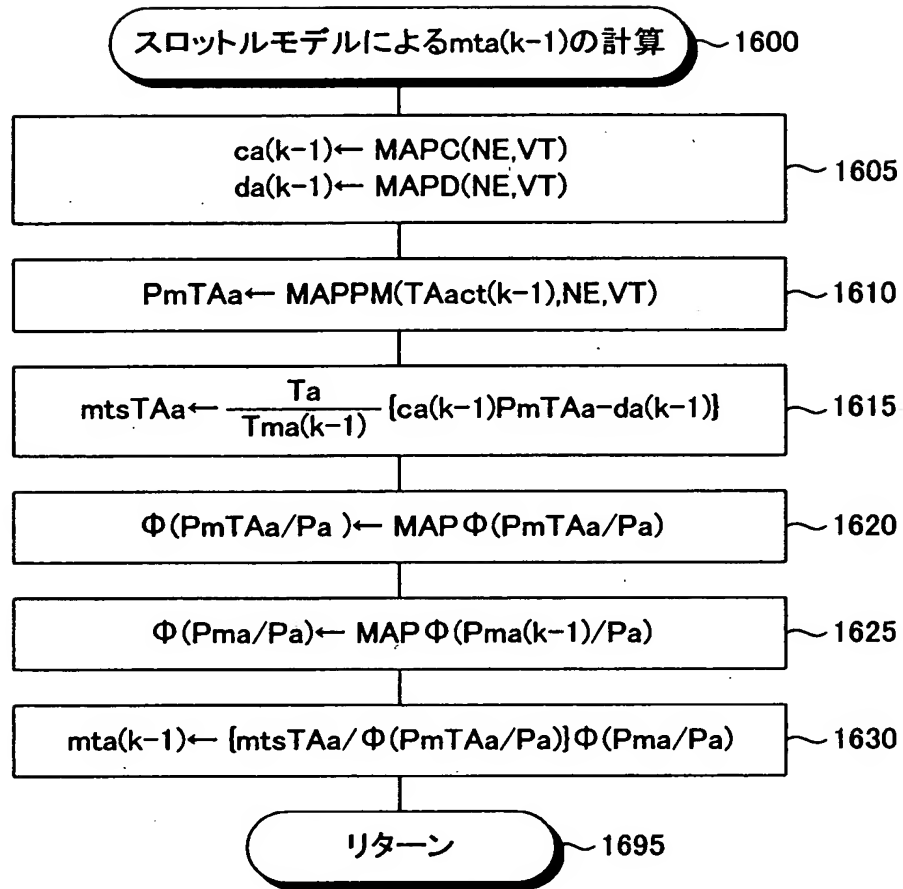
【図 1 4】



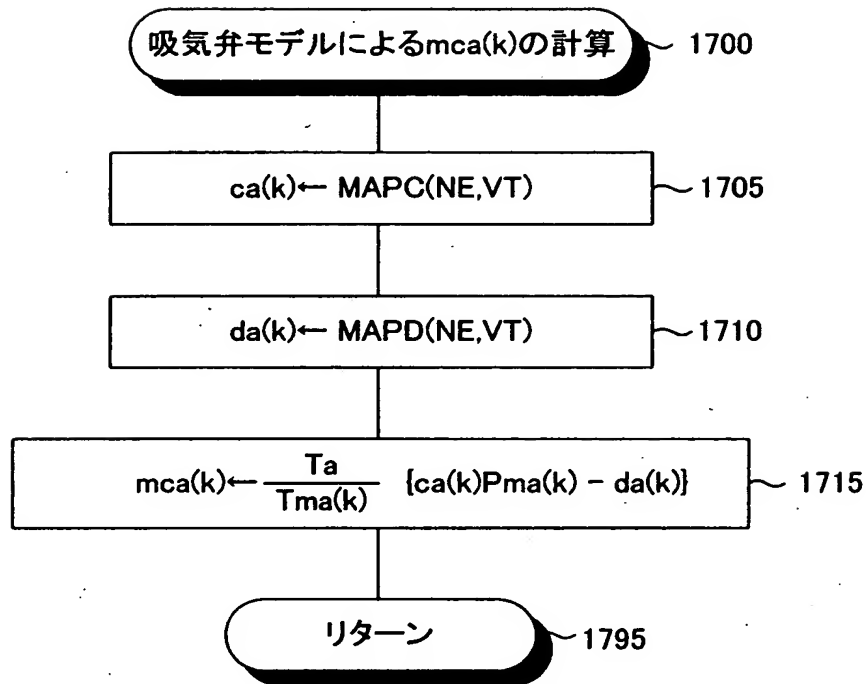
【図 1 5】



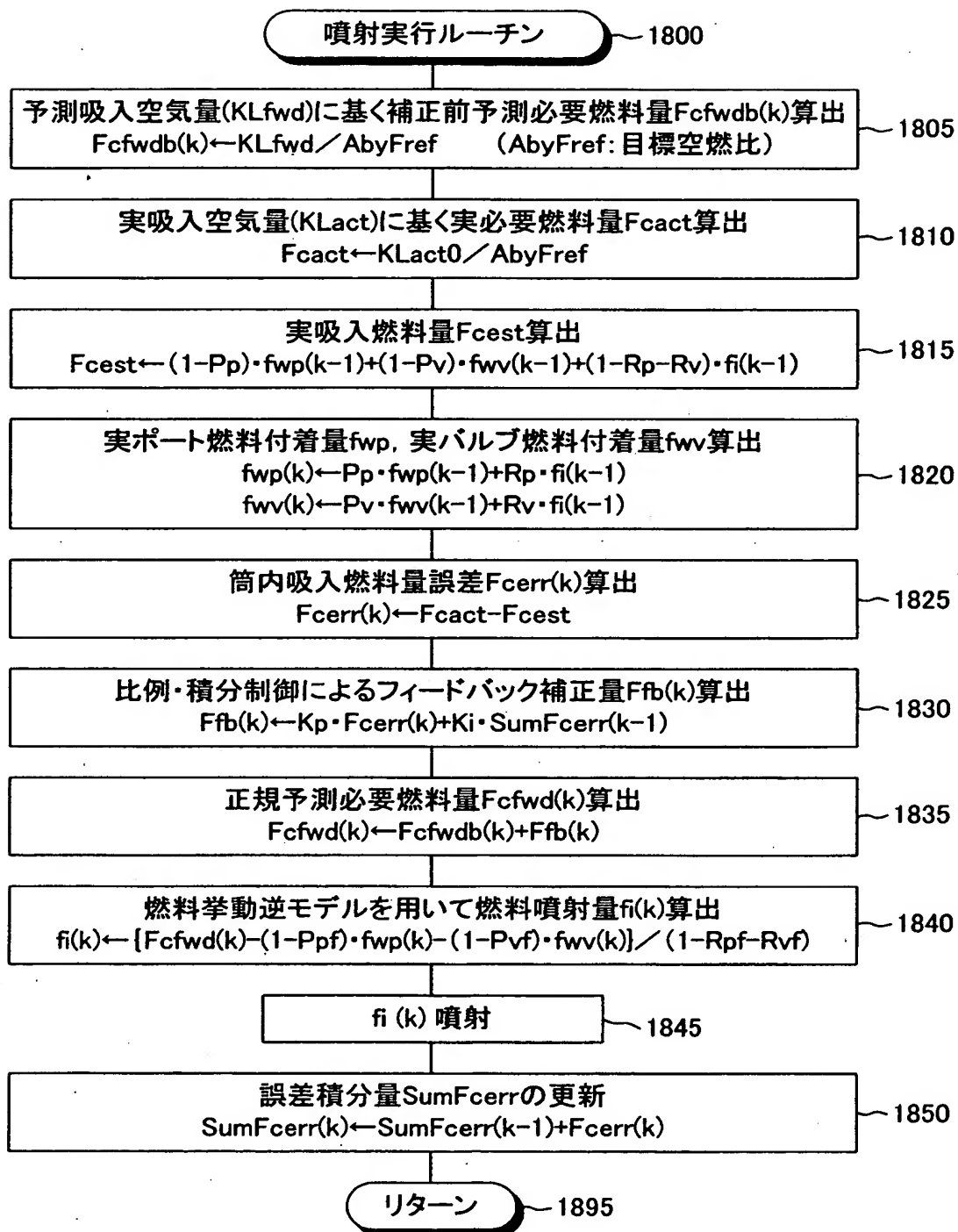
【図 1 6】



【図 1 7】



【図 1 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 予測吸入空気量の推定誤差に基く供給燃料量の過不足分を迅速且つ正確に補償し、空燃比を一定に維持可能とすること。

【解決手段】 この燃料噴射量制御装置は、予測スロットル弁開度に基づいて特定気筒の今回の吸気行程に対する吸入空気量 KL_{fwd} を予測し、これに基づいて補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ を求める。一方、本装置は、前回の吸気行程に対する実スロットル弁開度に基づいて実際の吸入空気量 KL_{act} を算出し、これに基づいて実必要燃料量 F_{cact} を求めると共に、前回の吸気行程に対する実際の燃料噴射量 $f_i(k-1)$ と燃料挙動順モデルとにより実吸入燃料量 F_{cest} を求め、実必要燃料量 F_{cact} と実吸入燃料量 F_{cest} との差 $F_{cerr}(k)$ に応じて補正前予測必要燃料量 $F_{cfwdb}(k)$ を補正して正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ を求め、正規予測必要燃料量 $F_{cfwd}(k)$ の燃料が吸入されるよう燃料挙動逆モデルにより今回の燃料噴射量 $f_i(k)$ を求める。

【選択図】 図 6

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-344564
受付番号	50201796537
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0092
作成日	平成14年11月28日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成14年11月27日
【特許出願人】	
【識別番号】	000003207
【住所又は居所】	愛知県豊田市トヨタ町1番地
【氏名又は名称】	トヨタ自動車株式会社
【代理人】	申請人
【識別番号】	100088971
【住所又は居所】	愛知県名古屋市中村区太閤3丁目1番18号 名 古屋KSビル プロスペック特許事務所
【氏名又は名称】	大庭 咲夫
【選任した代理人】	
【識別番号】	100115185
【住所又は居所】	愛知県名古屋市中村区太閤3丁目1番18号 名 古屋KSビル プロスペック特許事務所
【氏名又は名称】	加藤 慎治
【選任した代理人】	
【識別番号】	100115233
【住所又は居所】	愛知県名古屋市中村区太閤3丁目1番18号 名 古屋KSビル プロスペック特許事務所
【氏名又は名称】	樋口 俊一

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003207]

1. 変更年月日	1990年 8月27日
[変更理由]	新規登録
住 所	愛知県豊田市トヨタ町1番地
氏 名	トヨタ自動車株式会社